

GOLF + NATURSCHUTZ

BEWÄSSERUNG VON GOLFANLAGEN
SCHONENDER UMGANG MIT WASSER



Deutscher Golf Verband e.V.



Impressum

Herausgeber: Deutscher Golf Verband e.V., Wiesbaden 1998
Verantwortlich für den Inhalt: Dr. Heinz Schulz
Gestaltung: Outfit, Agentur für Konzeption und Gestaltung, Bonn
Druck: Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Wasseraufnahme, Wasserbedarf und Trockentoleranz	4
2.1. Wasseraufnahme	4
2.2. Wasserbedarf	5
2.3. Trockentoleranz	6
3. Standort	8
3.1. Klima	8
3.2. Boden	8
3.2.1. Zusammensetzung	8
3.2.2. Dichte und Porenvolumen	8
3.3. Bodenwasser	9
3.4. Belastung und Bodenverdichtung	9
3.5. Rasentragschicht	11
3.6. Aufbau der Spielelemente	11
4. Pflege von Golfrasenflächen	12
4.1. Mahd	12
4.2. Düngung	13
4.3. Belüften	13
5. Beregnungswasser	14
5.1. Verbrauch	14
5.1.1. Pilzliche Krankheiten	14
5.1.2. Unerwünschte Arten	15
5.2. Beschaffung	15
5.3. Qualität	15
6. Bewässerungstechnik	17
6.1. Optimale Bewässerung	17
6.2. Einflußfaktoren	17
6.2.1. Überlappende Wurfflächen, Windabdrift und Evaporationsverluste	18
6.2.2. Bewässerungssteuerung	18
6.3. Alternative Bewässerungsmöglichkeiten	19
7. Umfrageergebnisse	20
8. Zusammenfassung und Schlußfolgerung	21
9. Literaturverzeichnis	22
Anhang	24

*Wasser ist der Ursprung oder das Element aller Dinge
(Aristoteles, 384 – 322 v. Chr.)*

Bewässerung von Golfanlagen

Schonender Umgang mit Wasser

Bernd Leinauer und Heinz Schulz, Universität Hohenheim

1. Einleitung

Pflanzen bestehen zu 75 bis 90% aus Wasser. Eine Abnahme des Wassergehalts um lediglich 10% kann bereits zum Absterben der Pflanze führen. Wasser nimmt deshalb eine zentrale Rolle im Wachstum und in der Entwicklung von Pflanzen allgemein und ganz besonders in kurz geschnittenen, belasteten und sich schnell regenerierenden Graspflanzen ein.

Der Wasservorrat im Boden deckt nur in sehr kurzen Zeiträumen den Wasserbedarf der Pflanzen. Häufig sind die Niederschläge zu gering und dann noch ungleichmäßig verteilt, so daß ein zusätzlicher Bedarf entsteht. Besonders die Strapazierrasenflächen zum Beispiel auf Golfplätzen müssen deshalb in Trockenperioden zusätzlich mit Wasser versorgt werden, damit sie ihre Funktion erfüllen können.

Wasser steht nicht überall unbegrenzt zur Verfügung. Das für die Beregnung notwendige Wasser wird häufig dem Grund- bzw. Trinkwasserreservoir zu Zeiten entnommen, in denen auch ein großer Bedarf zur Versorgung der Bevölkerung und zur Beregnung von landwirtschaftlichen Produkten besteht. Deshalb sollte bei der Pflege von Rasenflächen der zusätzlichen Beregnung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Es ist das Ziel dieser Publikation, Grundlagen zum Verständnis der Beregnung dazulegen sowie Mittel und Wege aufzuzeigen, wie anhand bestimmter Bau-, Pflege- und Überwachungsmaßnahmen der Beregnungswasserverbrauch von Golfanlagen auf die unbedingt notwendige Menge reduziert werden kann, um damit einen Beitrag zur umweltgerechten Pflege zu liefern.

2. Wasseraufnahme, Wasserbedarf und Trockentoleranz

2.1. Wasseraufnahme

Wasser wird von Graspflanzen zum größten Teil über die Wurzeln aufgenommen. Ein ausgeprägtes, gesundes und besonders tiefes Wurzelsystem spielt in der Praxis bei der Anwendung von wassersparenden Maßnahmen eine zentrale Rolle.

Wasser dringt über die in der Nähe der Wurzelspitze ausgebildeten Wurzelhaare in den Innenraum der Wurzel ein. Über innere (Wurzeldruck und Kapillarkraft) und äußere Kräfte (Transpirationssog) wird das Wasser in den Wurzeln über ein Wasserleitungssystem (den sogenannten Leitbündeln) in den Sproßteil der Pflanze und in die Blätter transportiert (Abbildung 1). Von dort erfolgt die Abgabe als Wasserdampf über eine Art ‚Poren‘, den Spaltöffnungen, an die umgebende Atmosphäre. Dieser Vorgang, der dem menschlichen Schwitzen sehr ähnlich ist, wird mit Transpiration bezeichnet. Dabei entsteht Verdunstungskälte, mit welcher die Pflanze ihren Stoffwechsel kühlt, bzw. in einem optimalen Bereich hält. Mit dem Wasserstrom innerhalb der Pflanze werden Nährstoffe und andere Verbindungen an den jeweiligen Verbrauchsort transportiert. Ungefähr 95 bis 99% des aufgenommenen Wassers wird lediglich zu diesem Zweck als Transport- und Kühlmittel verwendet. Die verbleibenden 1 bis 5% Wasser werden für den Stoffwechsel benötigt bzw. sind als Lösungsmittel im Innenraum der Zellen für die Festigkeit der Zellen (=Turgordruck) und damit für die Gestalt der Pflanze verantwortlich. Sinkt nun der für Stoffwechsel, Turgor und Transpiration benötigte Wassergehalt innerhalb des Pflanzengewebes unter eine kritische Grenze und kann über eine Nachlieferung aus dem Boden nicht mehr ausgeglichen werden, entsteht ein Wasserdefizit, das alle

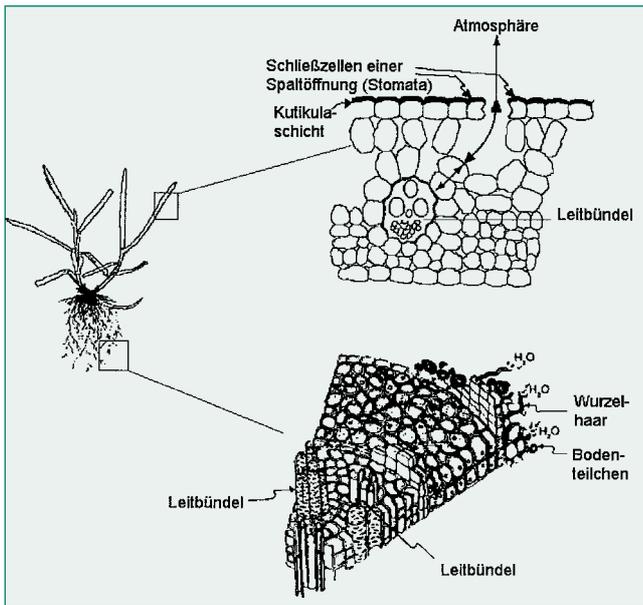


Abbildung 1:
Wurzel- und Blattquerschnitt einer Graspflanze mit den für den Wassertransport verantwortlichen Leitungsbahnen. Pfeile im Blattquerschnitt zeigen den Weg des Wassers aus den Leitbündeln in die Atmosphäre (nach Turgeon, 1991 und Youngner, 1985; verändert.)

Lebensvorgänge einschränkt, und zum Trockenstreß führen kann.

Ein vorübergehendes Erschlaffen der Blätter an trockenen Tagen wird noch ohne Schaden überwunden, wenn keine starke Belastung vorliegt. Bei übermäßiger Verdunstung und Versagen des Nachschubs tritt zunächst Welke ein, die Zellen verlieren Wasser, und es treten schließlich irreversible Schäden an den Blättern auf. Wichtige Stoffwechsellvorgänge (z.B. Assimilation) können nicht mehr stattfinden. Eine mögliche spätere Wiederbefeuchtung führt nicht zur Erholung der geschädigten Pflanzenteile.

2.2. Wasserbedarf

Wasserbedarf ist ein in der allgemeinen Landwirtschaft und im Gartenbau gebräuchlicher Begriff, der eine bestimmte, für die entsprechende Kultur notwendige Wassermenge beschreibt. Diese Wassermenge setzt sich in unseren Breiten aus natürlichen Niederschlägen, dem möglicherweise pflanzenverfügbaren Grundwasser und den eventuell zusätzlich ausgebrachten Beregnungsmengen zusammen. Der Wasserbedarf ist somit definiert als die Menge an Wasser, die aufgewendet werden muß, um eine bestimmte Ertragsleistung der Pflanze zu erzielen.

Diese Definition läßt sich nicht so ohne weiteres auf die Kultur ‚Rasen‘ übertragen, da hier das Ziel einer

mengenmäßigen Ertragsmaximierung im streng landwirtschaftlichen Sinn nicht gegeben ist. Deshalb wird als Bezugsgröße für den Wasserbedarf einer Rasenfläche deren Gesamtwasserverbrauch unterstellt. Dieser setzt sich aus der Verdunstung der Pflanzenoberfläche (= Transpiration) und des Bodens (= Evaporation) zusammen. In der Fachliteratur spricht man deshalb von Evapotranspiration. Nicht enthalten ist hierin die Menge an Wasser, die für den pflanzlichen Stoffwechsel benötigt wird. Da jedoch lediglich 1 bis 5% des aufgenommenen Wassers von der Pflanze im Stoffwechsel verarbeitet wird, kann dieser Teil vernachlässigt werden. Je nach Grasart bzw. -sorte, Standort, Witterung, Bodenart, Beanspruchung, Schnitthöhe und Nährstoffversorgung beträgt der zu ersetzende Evapotranspirationsverlust der gebräuchlichsten Rasengräser bis zu über 10 mm/Tag in der Vegetationsperiode (Tabelle 1).

Versuche in Nordamerika bewiesen darüber hinaus, daß Unterschiede hinsichtlich des Wasserverlustes an sehr heißen Sommertagen nicht nur zwischen verschiedenen Grasarten, sondern auch zwischen verschiedenen Sorten innerhalb einer Art auftreten können (Tabelle 2). Oftmals bestehen zwischen den Sorten innerhalb einer Art größere Unterschiede als zwischen den Grasarten. Derartige umfassende Untersuchungen aus Mitteleuropa gibt es unseres Wissens nicht. Es ist aber davon auszugehen, daß die fast 300 in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Rasenräsersorten ebenfalls große Unterschiede in den Evapotranspirationsverlusten aufweisen.

Die in Tabelle 1 und 2 angeführten Ergebnisse führten zu dem Schluß, daß durch die Verwendung von Arten bzw. Sorten mit niedrigen Evapotranspirationswerten eine deutliche Wassereinsparung in der Beregnung von Rasenanlagen erzielt werden könnte. Nicht unerhebliche Anstrengungen werden deshalb insbesondere an nordamerikanischen For-

Tabelle 1:
Evapotranspirationsverluste (ET) der gebräuchlichsten Sorten verschiedener Rasenräsersorten (nach Beard und Kim, 1989)

ET (mm/Tag)	Grasart Deutscher Name	Botanischer Name
7 – 8,5	Schafschwingel	<i>Festuca ovina</i>
	Rotschwingel	<i>Festuca rubra</i>
	Wiesenrispe	<i>Poa pratensis</i>
8,5 – 10	Dt. Weidelgras	<i>Lolium perenne</i>
> 10	Rohrschwingel	<i>Festuca arundinacea</i>
	Flechtstraußgras	<i>Agrostis stolonifera</i>
	Jährige Rispe	<i>Poa annua</i>
	Welsches Weidelgras	<i>Lolium multiflorum</i>

Tabelle 2:
Evapotranspirationsverluste zehn verschiedener Flechtstraußgrassorten (*Agrostis stolonifera*) an jeweils einem Tag im Juni und im Oktober bei einer Schnitthöhe von 12,5 mm (Salaiz et al., 1991)

Sorte	ET (mm/Tag)	
	Juni	Oktober
Seaside	10,7	4,3
SR 1020	10,3	3,8
Cobra	10,5	3,8
Penncross	9,5	3,7
Providence	9,3	3,6
Penneagle	9,3	3,5
Emerald	8,9	3,8
Prominent	8,8	3,5
National	8,4	3,3
Pennlinks	8,3	3,5

schungseinrichtungen unternommen, um aus Wild- und bereits bestehenden Rasengräsern trocken- und tiefschnitttolerante Sorten neu- und weiterzuzüchten.

Unter Tiefstschnittbedingungen (1 cm und tiefer) scheinen jedoch nach neueren Erkenntnissen diese deutlichen Artunterschiede in den Evapotranspirationsverlusten durch die Streuung der Sorten auf ein unerhebliches Maß reduziert zu werden oder teilweise sogar ganz zu verschwinden (Tabelle 3).

Aus den Ergebnissen dieser vorliegenden Untersuchungen kann gefolgert werden, daß eine Auswahl der Rasengräserarten und -sorten im Hinblick auf Wassereinsparung für die einzelnen Funktionsflächen unterschiedlich beurteilt werden muß. Für Abschläge und Spielbahnen mit den üblichen Schnitthöhen über 10 mm kann der Einsatz entsprechender Arten und Sorten mit geringen Wasserverlusten in der Praxis durchaus mit einer Wasserersparnis

Tabelle 3:
Evapotranspirationsverluste (mm/Tag) der gebräuchlichsten Sorten dreier verschiedener Grasarten (Flechtstraußgras, Rotschwengel, Jährige Rispe) bei unterschiedlichen Schnitthöhen (versch. Autoren)

Grasart	ET (mm/Tag)	
	Schnitthöhe über 25 mm	Schnitthöhe unter 10 mm
Flechtstraußgras (<i>Agrostis stolonifera</i>)	8 – 10	2,4 – 5,7
Rotschwengel (<i>Festuca rubra</i>)	7 – 8,5	2,7 – 5,0
Jährige Rispe (<i>Poa annua</i>)	über 10	2,1 – 5,1

verbunden sein. Dennoch darf der gleiche Sachverhalt nicht für Grüns mit Schnitthöhen von 4 mm und tiefer unterstellt werden. Hier hat die Auswahl von bestimmten Gräserarten aufgrund von lediglich niedriger ET-Raten keine Wassereinsparung zur Folge.

Andererseits scheinen die Evaporationsverluste der Gräserarten eine große Streuung aufzuweisen, und es liegen zu wenig Untersuchungen vor, um Sortenempfehlungen aussprechen zu können.

Von ganz entscheidender Bedeutung ist bei sehr tiefem Schnitt die Trockentoleranz der einzelnen Rasengräser. Auf Rasenflächen mit vorwiegend trocken-toleranten Gräserarten können die Zeiträume zwischen den Beregnungsintervallen hinausgezögert werden, um den Wasserverbrauch bei der zusätzlichen Bewässerung zu senken.

2.3. Trockentoleranz

Graspflanzen widerstehen in der Regel aufgrund besonderer morphologischer Merkmale und Stoffwechselreaktionsmechanismen eine zeitlich begrenzte Trockenheit ohne größeren Schaden. Untersuchungen an der Universität Hohenheim haben bewiesen, daß sich Gräser bei Tiefschnitt in belastetem als auch unbelastetem Zustand nach Trockenperioden von bis zu 15 Tagen bei schon gut sichtbarer Welke noch vollständig erholen (Huber, 1995 und Leinauer u.a., 1991). Die Mechanismen

Tabelle 4:
Trockenresistenzmerkmale bei Rasengräsern

Austrocknungsverzögerung
<ul style="list-style-type: none"> • Vertiefung des Wurzelsystems • Verstärkung der Wurzelhaardichte • Verkleinerung der Transpirationsfläche (Einrollen bzw. Falten der Blätter) • Verdickung der Kutikula • Verstärkung der Behaarung • Schließung der Stomatazellen • Verringerung der Stomatadichte • Transpirationsreduzierung durch verstärkte Wasserbindung innerhalb der Zellen mittels chem. Substanzen (Proline, Betaine)
Austrocknungsvermögen
1. Flucht <ul style="list-style-type: none"> • Abschluß des Lebenszyklus vor Einsetzen einer natürlich einsetzenden und regelmäßig wiederkehrenden (Sommer-) Trockenheit, z. B. <i>Poa annua</i> • Überdauern der Trockenperiode im Ruhestadium (= Dormanz)
2. Ausdauer <ul style="list-style-type: none"> • Zellen widerstehen vollständiger Austrocknung ohne abzusterben

Tabelle 5:
Anpassungsmechanismen einiger Rasengräser an Trockenheit (nach Cook, 1982, verändert)

Grasart	Verzögerungsmechanismen		Vermeidungsmechanismen		Allgemeine Bewertung d. Trocken-toleranz
	Reduzierung der Transpirations-fläche	Verbesserung der Wasseraufnahme (Durchwurzelung)	Dormanz	Flucht	
Flechtstraußgras (<i>Agrostis stolonifera</i>)	rollt Blätter	schlecht	vorhanden	nein	mäßig, verliert aber Farbe
Rohrschwengel (<i>Festuca arundinacea</i>)	rollt Blätter	sehr gut	wird in der Regel nicht erreicht	nein	gut
Rotschwengel (<i>Festuca rubra</i>)	faltet Blätter	gut	eindeutig	nein	gut
Deutsches Weidelgras (<i>Lolium perenne</i>)	faltet Blätter	mäßig	eindeutig	nein	mäßig
Jährige Rispe (<i>Poa annua</i>)	faltet Blätter	schlecht	nicht befähigt	ja	sehr schlecht
Wiesenrispe (<i>Poa pratensis</i>)	faltet Blätter	mäßig	eindeutig	nein	befriedigend

innerhalb der Pflanzen, die für dieses Verhalten verantwortlich sind, mögen in ihrer Wirkungsweise und in ihrem Umfang für einzelne Arten unterschiedlich sein, sie führen letztlich jedoch zum gleichen Ergebnis und werden unter dem Begriff ‚Austrocknungsresistenz‘ zusammengefaßt. Austrocknungsresistenz beschreibt somit die Möglichkeiten einer Graspflanze, den negativen Folgen eines Wassermangels und des daraus resultierenden Wasserstresses zu widerstehen bzw. sie hinauszuzögern. Je nach Art und Zeitpunkt des Widerstandes bzw. der Toleranz wird zwischen Austrocknungsverzögerung und Austrocknungsvermögen unterschieden (Tab. 4).

Einige dieser Merkmale, wie z. B. Kutikuladicke (Kutikula = Wachsschicht auf den Blättern, die unkontrollierten Wasseraustritt verhindern soll), Behaarung oder geringe Stomatadichte dienen den Gräsern als Transpirationsschutz und bewirken, daß während der heißen Tages- bzw. Jahreszeit nicht übermäßig viel Wasser an die umgebende Atmosphäre abgegeben wird. Sie sind für die jeweiligen Arten in ihrem Ausmaß und Umfang genetisch festgelegt und können, außer über Züchtungen, nicht beeinflußt werden. Andere Mechanismen jedoch, wie z.B. Ausbildung eines tieferen Wurzelsystems, einer verstärkten Wurzelhaardichte und Verkleinerung der Transpirationsfläche stellen Erscheinungen dar, mit der jede Grasart mehr oder weniger ausgeprägt auf Trockenstreß reagiert und die im Rahmen von wassersparenden Maßnahmen ausgenutzt werden können. Besonders die Ausbildung eines tieferen Wurzelsystems kann bei beginnender Wasserknappheit wirkungsvoll Beregnungswasser einsparen helfen, wie im Kapitel ‚Pflege‘ noch genauer erläutert wird.

Die Dormanz, das Überdauern der Trockenperiode im Ruhestadium, spielt in der Praxis besonders dann eine wichtige Rolle, wenn auf die Beregnung über einen längeren Zeitraum verzichtet werden muß. Spielbahnen zum Beispiel mögen nicht sehr ästhetisch aussehen, wenn sie im Sommer aufgrund von Wassermangel zeitweise wegen ihrer strohfarbenen, bleichen Erscheinung abgestorben wirken. Trotzdem genügt oft schon ein kurzer Regenschauer, um die Pflanzendecke wieder ergrünen zu lassen. Besonders das Deutsche Weidelgras regeneriert sich nach Trockenperioden innerhalb weniger Tage. In Gegenden, in denen Wasser im Sommer besonders knapp ist, muß deshalb eine Spielbahnberegnung nicht unbedingt eingesetzt werden, ohne gleich den Verlust der Grasnarbe zu riskieren. In Tabelle 5 sind die Anpassungsmechanismen an Trockenheit für die auf Golfplätzen gebräuchlichsten Rasengräser zusammengefaßt.

3. Standort

3.1. Klima

Das am jeweiligen Standort des Golfplatzes vorherrschende (Groß-)Klima sollte für die Bemessung der Beregnungsmenge herangezogen werden, weil in Regionen mit hohen jährlichen natürlichen Niederschlagsmengen entsprechend weniger zusätzlich bewässert werden müßte. Das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp, 1994) unterstellt deshalb unterschiedlichen Beregnungswasserbedarf für Golfplätze in trockenen (langjähriges Niederschlagsmittel unter 700 mm), mittleren (langjähriges Niederschlagsmittel zwischen 700 und 900 mm) und niederschlagsreichen (langjähriges Niederschlagsmittel über 900 mm) Lagen. Diese theoretische Forderung wird durch Zahlen aus einer Umfrageaktion unter deutschen Golfplätzen jedoch nicht bestätigt. Demnach nimmt weder das jährliche, noch das Niederschlagsmittel in der Vegetationsperiode einen entscheidenden Einfluß auf den Beregnungswasserverbrauch.

Zur Erklärung dieses Sachverhalts dürften wohl zwei Gründe ausschlaggebend sein. Einerseits kann für die Bewässerung von Golfplätzen in Deutschland tendenziell eine Überversorgung mit Wasser festgestellt werden, die eine strenge mathematische Beziehung von Beregnungs- und Niederschlagsmenge nicht feststellen läßt. Der für die Bewässerung verantwortliche Personenkreis orientiert sich letztlich nicht am Wasserbedarf der Grasnarbe, sondern häufig nach subjektiven und ästhetischen Kriterien, da die tatsächlich notwendige Wassermenge zum Erhalt der Funktionsfähigkeit der Grasnarbe ohne technische Hilfsmittel eigentlich nur sehr grob abgeschätzt werden kann. Hierzu wird in Kapitel 6 jedoch genauer eingegangen. Andererseits berücksichtigt das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp, 1994) weder die Niederschlagsverteilung in den Sommermonaten noch besondere kleinklimatische Gegebenheiten auf Golfplätzen. Beide Faktoren können den Wasserverbrauch erheblich stärker beeinflussen als das jährliche Niederschlagsmittel. Die Zahlen des Bundesinstituts sind deshalb lediglich als unterster Schwellenwert aufzufassen und in der Praxis wohl nur sehr schwer zu erreichen. Diese Erkenntnis wird durch eine Umfrageaktion unter Golfplätzen in Hessen bestätigt. Sie kam zu dem Ergebnis, daß es sich bei den Angaben des BISp nur um Mindestangaben handeln kann (Anonymus, 1996).

3.2. Boden

Da die Graswurzeln den überwiegenden Teil des Wassers dem sie umgebenden Boden entnehmen,

spielt er als Wasserspeicher und Wasserlieferant eine zentrale Rolle in der Bewässerung.

3.2.1. Zusammensetzung

Boden ist ein Gemisch, bestehend aus drei Phasen: der festen, der flüssigen, und der gasförmigen. Die Komponenten der festen Phase sind die Mineralkörper (Bodenteilchen) und die organische Substanz. Die Bestandteile der flüssigen Phase sind Wasser und die darin gelösten Stoffe. Die Bestandteile der gasförmigen Phase sind Kohlendioxid, Sauerstoff und andere Gase. Abbildung 2 gibt die Zusammensetzung eines Bodens unter Dauergrünland wieder, wie sie auch unter Spielbahnen und Rauheflächen auf Golfplätzen anzutreffen ist.

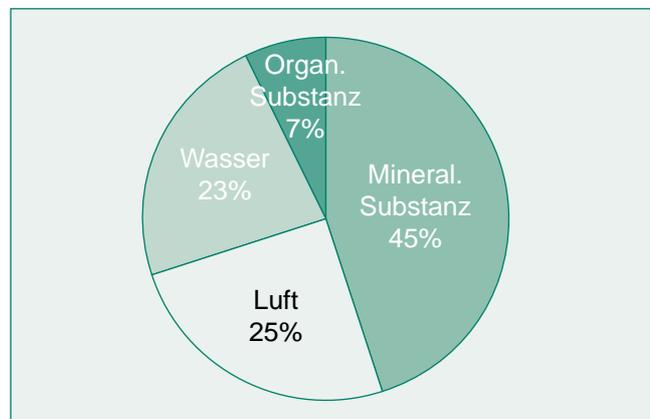


Abbildung 2: Zusammensetzung eines typischen Grünlandbodens (Volumen%)

Einige wichtige Eigenschaften des Bodens werden durch seine Körnung definiert. Die Körnung, abgekürzter Begriff für Korngrößenfraktionen, beschreibt die Massenanteile verschieden großer Bodenteilchen. Die Zusammensetzung des Bodens aus den unterschiedlichen Korngrößenfraktionen charakterisiert den Bodentyp, z.B. Ton-, Schluff-, Sand-, Kiesboden oder alle möglichen Übergänge. Die räumliche Anordnung der festen Bodenteilchen ist kennzeichnend für die Bodenstruktur oder das Bodengefüge. Bodendichte, Porenvolumen und Stabilität der Bodenstruktur sind also abhängig von der Lagerung der einzelnen Fraktionen. Stabilität charakterisiert die Toleranz, Belastungen ohne Veränderung des Bodengefüges zu überstehen.

3.2.2. Dichte und Porenvolumen

Die Dichte eines Bodens, wird in Massen- pro Volumeneinheit angegeben (g/cm^3) und ist ein Maß für den Anteil der mineralischen und organischen Substanz im Boden. Dagegen kann das Porenvolumen entweder mit Wasser oder mit Luft gefüllt sein. Je

dichter der Boden, desto geringer das Porenvolumen. Die Bodendichte liegt im allgemeinen zwischen $1,1 \text{ g/cm}^3$ (lockere Lehmböden) und $1,8 \text{ g/cm}^3$ (Sandböden). Das Gesamtporenvolumen eines Bodens setzt sich aus Poren unterschiedlicher Größe zusammen. Diese werden in Groß-, Mittel- und Kleinporen unterteilt. Ihre mengenmäßige Verteilung und Zusammensetzung legt nicht nur Wasserspeicher- und Wasserleitfähigkeit (=Drängeschwindigkeit) fest, sondern bestimmt auch die Geschwindigkeit des Gasaustausches. Während die Groß- und die Mittelporen relativ schnell dränen und für den Lufthaushalt, den Gasaustausch und das Wurzelwachstum verantwortlich sind, wird in den Kleinporen überwiegend Wasser entgegen der Schwerkraft kapillar gebunden.

3.3. Bodenwasser

Nach einer intensiven Beregnung oder nach starken natürlichen Niederschlägen sind in der Regel alle Poren des Bodens mit Wasser gesättigt. Für die Wasserspeicherung über einen längeren Zeitraum sind aber letztendlich nur die kleinen Poren von Belang, da nur diese das Wasser entgegen der Schwerkraft zu binden vermögen. Die großen Poren leiten das Wasser sehr schnell ab (= Dränung). Je nach Bodenart und seiner Korngrößenzusammensetzung geschieht diese Dränung unterschiedlich schnell. So kann ein Sandboden mit seinem hohen Anteil an Grobporen bereits nach 1 bis 2 Stunden den Großteil seines Wassers entweder an tiefere Bodenschichten oder in die Drainagerohre und damit unerreichbar für Pflanzenwurzeln abgegeben haben. Ein Lehmboden jedoch, mit einem sehr hohen Anteil an Kleinporen, ist in der Lage, das Was-

ser über einen langen Zeitraum zu speichern und leitet nur sehr langsam. Teilweise sind die Poren in diesen Lehmböden jedoch so klein und das Wasser darin so fest gebunden, daß die Pflanzenwurzeln nun überhaupt nicht mehr in der Lage sind, dieses Wasser aufzunehmen. Man spricht hier von nicht pflanzenverfügbarem Wasser. Abbildung 3 illustriert den unterschiedlichen Anteil an pflanzenverfügbarem und nicht pflanzenverfügbarem Wasser und den Gesamtwassergehalt verschiedener Böden.

3.4. Belastung und Bodenverdichtung

Das besonders große Wasserspeichervermögen von Böden mit hohen Anteilen an kleinen Korngrößen, wie sie z.B. in Lehmböden vorherrschen, legt den Schluß nahe, daß bei Verwendung dieser Böden im Golfplatzbau in der Beregnung erhebliche Mengen an Wasser eingespart werden könnten.

Funktionsflächen auf Golfplätzen, ganz besonders Grüns und Abschläge, unterliegen jedoch auf Grund von intensivem Pflege- und Spielbetrieb einer sehr hohen Belastung. Besonders die Golfspieler mit ihrer kleinflächigen Trittbelastung bewirken eine sehr deutliche Veränderung der bodenphysikalischen Eigenschaften: der Boden wird verdichtet. Die Bodenverdichtung resultiert jedoch nicht nur aus der Trittbelastung. Ballaufschlag, Aufschlag von Regentropfen insbesondere bei Neuansaat und das Befahren der Flächen mit Fahrzeugen und Pflegegeräten können darüber hinaus Verdichtungen verursachen. Die Verdichtung zeigt ihre maximale Auswirkung nahe der Oberfläche und nimmt mit zunehmender Tiefe linear ab. Die Verdichtungs-

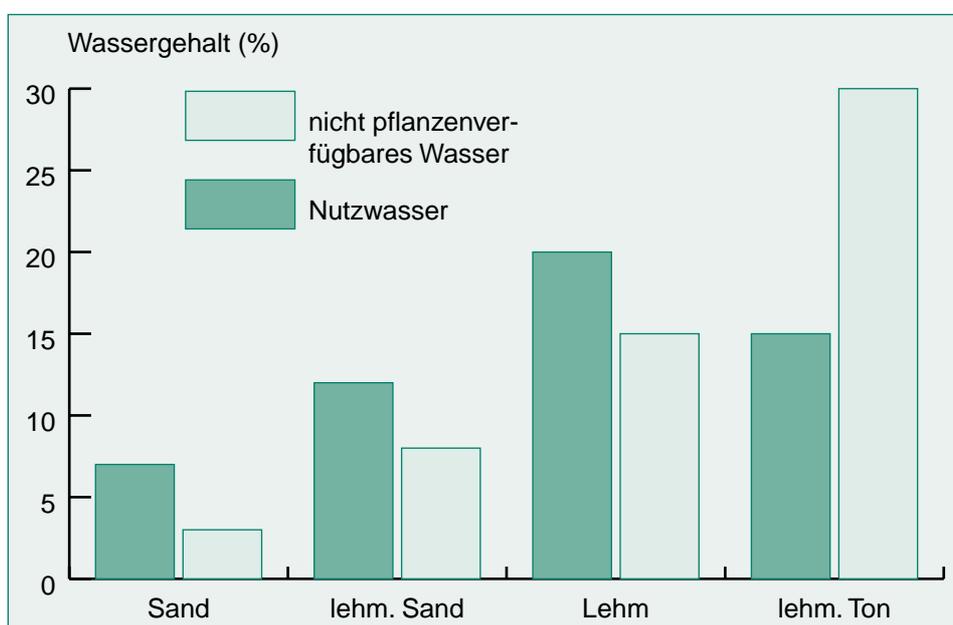


Abbildung 3: Nutzwasseranteil und Anteil an nicht pflanzenverfügbarem Wasser in verschiedenen Böden

Tabelle 6:
Bodenphysikalische Eigenschaften von Sand, Oberboden und von verschiedenen Sand-Oberbodenmischungen

	Sand	4:1	2:1	1:1	Oberboden
Dichte (g/cm ³)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Porenvolumen (%)					
Gesamt	39.7	34.3	33.6	35.0	40.0
Großporen	25.0	21.5	19.9	17.1	16.2
Kleinporen	14.7	12.8	13.6	17.9	23.8

anfälligkeit von Böden ist abhängig vom Wassergehalt. Böden mit hohem Anteil an Feinstteilchen und ihrem großen Wasserspeichervermögen werden deshalb bei Nässe ganz besonders stark verdichtet.

Reine Sandböden, bzw. Böden mit einem sehr hohen Sandanteil zeigen die geringsten Veränderungen bei Verdichtung. Lehm Böden und Böden mit hohem Anteil an sehr kleinen Korngrößenfraktionen andererseits sind im unverdichteten Zustand durch ausgezeichnete Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum gekennzeichnet, verändern sich jedoch unter Verdichtungseinflüssen am deutlichsten. So können sie im verdichteten Zustand, also nach Belastung, höhere Dichten aufweisen als Sandböden.

Tabelle 6 zeigt einige bodenphysikalische Eigenschaften (Dichte und Porenvolumen) unterschiedlicher Böden nach einer im Labor simulierten Verdichtung.

Während sich der Sand und der Oberboden im Gesamtporenvolumen nicht unterscheiden, weist der Sand 2/3 seiner Gesamtporen im Makrobereich auf. Die Folge hiervon ist eine hohe Wasserdurchlässigkeit (Abbildung 4), geringe Wasserspeicherkapazität

und geringe Verdichtungsanfälligkeit dieses Bodens. Genau umgekehrt verhält es sich mit dem feinteilreichen Oberboden. Mehr als die Hälfte der Poren dieses Bodens liegen im Bereich der Kleinporen. Der hohe Anteil Kleinporen bewirkt eine geringe Wasserleitfähigkeit (Abbildung 4) und hohe Wasserspeicherkapazität, aber auch eine sehr hohe Verdichtungsanfälligkeit. Es ist davon auszugehen, daß unter Spielbetrieb sich die Dichte dieses Bodens noch weiter erhöhen würde.

Unter dem Einfluß der Verdichtungsanfälligkeit von Böden mit hohem Wasserspeichervermögen reduziert sich die Gasbewegung und dadurch der Sauerstoffgehalt im Boden (Abbildung 5).

Die Abbildung verdeutlicht, daß unabhängig vom Ausmaß der Verdichtung (lang- oder nur kurzfristig) selbst im sandhaltigen Lehm Boden bereits ein einziger Bewässerungsdurchgang ausreicht, um die Sauerstoffversorgung des Bodens für 120 Stunden unter die für das Graswachstum kritische Grenze abzusenken. Die Bewegung von Sauerstoff (= Diffusion) in mit Wasser gefüllten Poren ist um ca. 64mal langsamer als in mit Luft gefüllten, offenen Poren.

Der Mangel an Sauerstoff und die Zunahme an Kohlendioxid und anderen, für die Graswurzel teilweise toxischen Gasen bewirken einen Rückgang der Durchwurzelung. Daraus resultiert eine Verschlechterung der Grasnarbe aufgrund von abnehmender Triebzahl und Triebdichte sowie vermindertem Deckungsgrad, obwohl ausreichend Wasser im Boden vorhanden ist. Die Folgen einer reduzierten Durchwurzelung aufgrund von Sauerstoffmangel kann auf die geschilderte Art und Weise somit schlimmere Auswirkungen für die Grasnarbe haben als ein möglicher Trockenstreß.

Die Verwendung von feinteilreichem Oberboden im Golfplatzbau zur Einsparung von Beregnungswas-

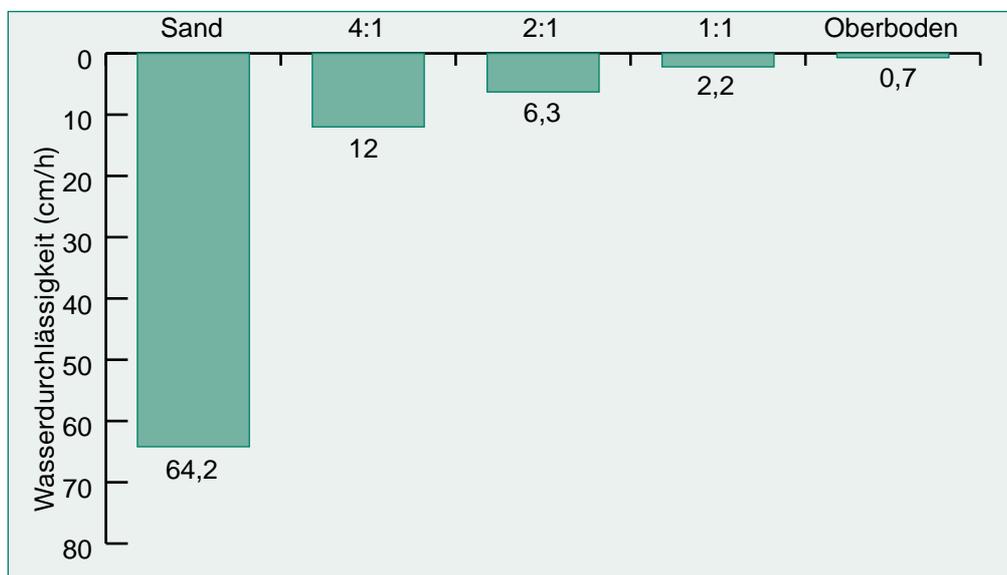


Abbildung 4:
Infiltrationsraten von Sand, Oberboden und verschiedenen Sand-Oberbodenmischungen

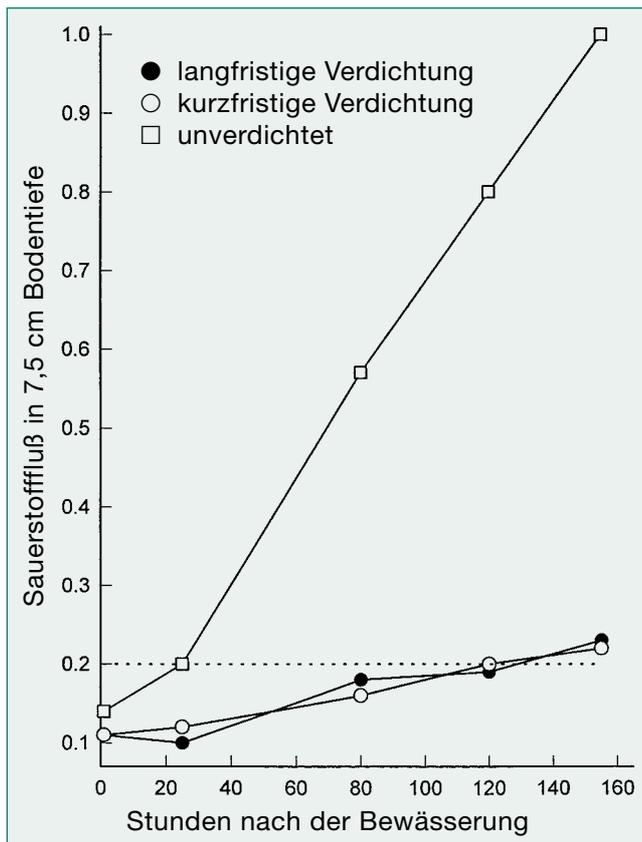


Abbildung 5:
Sauerstoffbewegung in unterschiedlich verdichteten sandigen Lehmböden nach Bewässerung (Agnew und Carrow, 1985)

ser führt letztlich zu einem höheren Wasserverbrauch. Wie im Kapitel ‚Pflege‘ noch genauer erläutert wird, müssen wegen der reduzierten Wurzeltiefe die Zeiträume zwischen den Bewässerungsterminen verkürzt werden, was häufigere Bewässerungsdurchgänge bedingt und somit den Wasserverbrauch ansteigen läßt.

3.5. Rasentragschicht

Ein für Golffrasen geeigneter Boden muß besondere bodenphysikalische Bedingungen erfüllen, um seiner Funktion als Wachstums- und Wurzelstandort für die Graspflanzen auch unter den hohen Belastungseinflüssen gerecht zu werden. Diese Bedingungen werden in der Regel an den jeweiligen natürlichen Standorten mit besonders feinteilreichen Böden nicht vorgefunden. Sie lassen sich nur über bestimmte Bau- oder Bodenmischungsmaßnahmen erzielen. Einem geringen Anteil von dem am Standort vorherrschenden Oberboden wird dabei ein sehr hoher Anteil an Sand zugemischt. Eine praktikable Alternative hierzu stellt die Bauweise mit reinem Sand dar. Der so ‚konstruierte‘ Boden wird als Rasentragschicht bezeichnet und überwiegend für Grüns und Abschläge verwendet. Die Rasentragschicht

leitet nun unter den auf diesen Spielelementen herrschenden bodenverdichtenden Belastungen die Niederschläge und das Beregnungswasser entsprechend schnell ab. Um den Ansprüchen an allen Standorten gleichermaßen gerecht zu werden und eine Einheitlichkeit der Rasentragschichten zu gewährleisten, wurden für Deutschland die bodenphysikalischen und bodenchemischen Ansprüche und Eigenschaften in einer Richtlinie zusammengefaßt. Die für den Bau von Golfplätzen relevante Richtlinie wurde von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) herausgegeben. Sie fordert für den Bau von Grüns und Abschlägen auf Golfplätzen als verdichtungsunempfindliche Rasentragschicht einen stark sandhaltigen Boden mit 90% der Korngrößen größer als 0,02 mm bzw. 82% größer als 0,06 mm. Das nordamerikanische Gegenstück zur deutschen FLL-Richtlinie, die Empfehlungen des amerikanischen Golfverbandes USGA (United States Golf Association) fordert, daß Korngrößen kleiner als 0,05 mm 10% vom Gesamtanteil der Rasentragschicht nicht übersteigen dürfen (Hummel, 1993).

3.6. Aufbau der Spielelemente

Grüns und Abschläge

Wie in den vorhergehenden Kapiteln bereits ausführlich geschildert, ist beim Bau der besonders belasteten Spielelemente Grün und Abschlag durch die Verwendung von sehr feinteilreichen und hoch wasserspeicherfähigen Böden langfristig keine Wassereinsparung zu erwarten. Durch eine nicht zu vermeidende Verschiebung des Pflanzenbestandes hin zu flachwurzelnenden Arten muß im Gegenteil häufiger bewässert werden. Die Verwendung von sandreichen Rasentragschichten für Grüns und Abschläge ist deshalb dringend zu empfehlen.

Spielbahnen

In der Regel kann der natürlich anstehende Oberboden auf Spielbahnen durch großflächige Austauschaktionen aus Kostengründen nicht verändert werden. Hier kann nur durch die Ansaat geeigneter Arten und durch den Einsatz eines entsprechenden Pflegeprogramms der Beregnungswasserverbrauch auf das notwendigste Maß beschränkt werden. Da Spielbahnen den größten Teil der Spielelemente eines Golfplatzes ausmachen, kann folglich-erweise die Beregnung dieser Spielelemente in der Regel einen großen Anteil am Gesamtwasserverbrauch einnehmen. Die Auswertung der Fragebogenaktion ergab aufgrund des geringen Rücklaufs von Golfplätzen mit Spielbahnberegnungsanlagen keine repräsentativen Wasserverbrauchszahlen. Das Bundesinstitut für Sportwissenschaft geht für trockene Regionen in Deutschland von 32.000 m³

Beregnungswasserverbrauch auf 18 Spielbahnen aus. Dem Bau einer Golfanlage mit Spielbahnenbewässerung sollte deshalb stets die Überlegung voranstellen, ob die zusätzliche Bewässerung der Spielbahnen auch absolut notwendig erscheint und ob im Sommer die dafür notwendige Wassermenge auch zur Verfügung steht.

4. Pflege von Golfrasenflächen

4.1. Mahd

Der Wasserverlust (=Evapotranspirationsverlust) einer Grasnarbe steigt mit ansteigender Schnitthöhe, da sich die Blattfläche im selben Umfang vergrößert. Bei Anheben der Schnitthöhe vergrößert sich jedoch nicht nur die Blattfläche, sondern auch der durchwurzelte Bodenbereich (Abbildung 6).

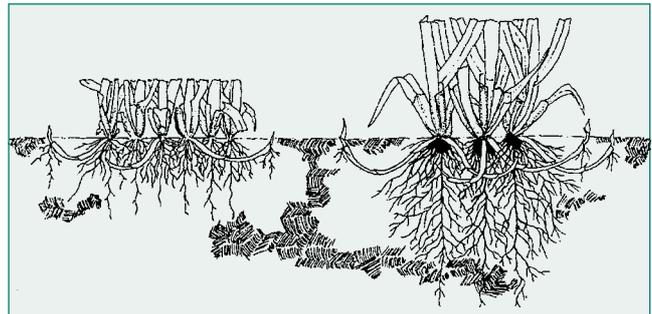


Abbildung 6:
Einfluß der Schnitthöhe auf die Durchwurzelung
(Turgeon, 1991)

Sehr tief geschnittene und belastete Rasengräser weisen daher eine ausgesprochen flache Durchwurzelung auf, mit einem Hauptwurzelanteil von über 90% in den obersten 10 cm des Bodens. Dadurch entziehen sie auch den größten Teil ihres Wasserbedarfs der obersten Bodenschicht, und dieses relativ geringe Wasserreservoir muß entsprechend schnell wieder aufgefüllt werden. Höher geschnittene Graspflanzen wurzeln dagegen tiefer und dichter und können zur Wasseraufnahme ein erheblich umfangreicheres Bodenvolumen ausnutzen (Abbildung 7).

Durch die Verlängerung der Zeitintervalle zwischen den Beregnungsdurchgängen müssen die Rasenflächen weniger häufig bewässert werden, was letztlich zu einer Verringerung des Wasserverbrauchs führt. Oftmals genügt die Zeitdauer auch, um die nächsten natürlichen Niederschläge abzuwarten, so daß ab und an auch auf eine zusätzliche Bewässerung vollständig verzichtet werden kann.

Die Messerschärfe des Mähers beeinflusst den Wasserverbrauch ebenfalls. Unmittelbar nach dem Mähen ist ein hoher Wasserverlust an der Schnittfläche zu beobachten, der sich mit dem Schließen (Verheilen) der Schnittstellen wieder reduziert. Der Wasserverlust aus den Schnittstellen nimmt jedoch am Gesamtwasserverlust nur einen sehr kleinen Teil ein

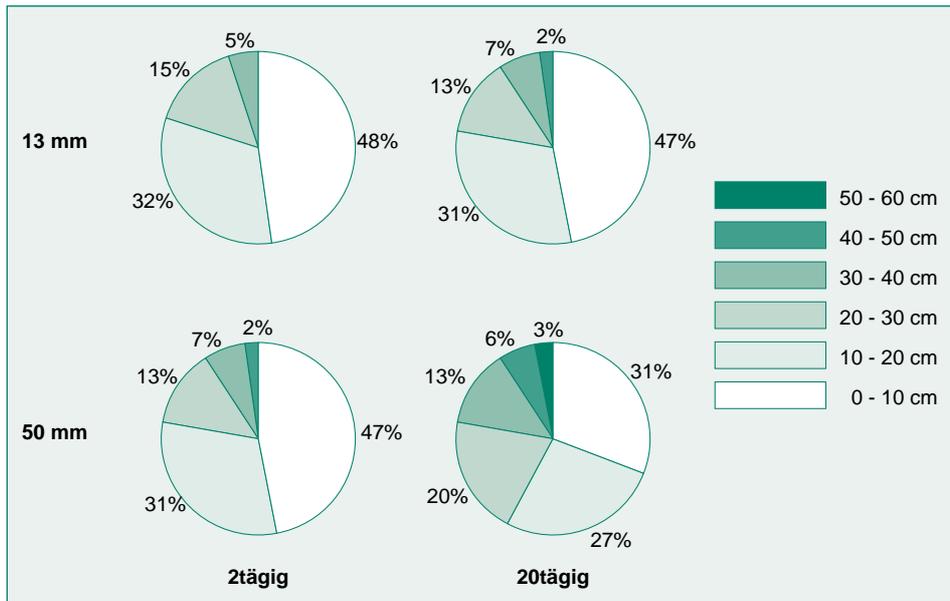


Abbildung 7: Anteile der Wurzelmasse von *Poa pratensis* (Sorte ‚Merion‘) in verschiedenen Bodentiefen. Die obere Reihe zeigt die Wurzelmassenverteilung bei 13 mm Schnitthöhe und zwei- bzw. 20-tägigem Bewässerungsintervall. In den beiden unteren Grafiken ist die Durchwurzelung bei einer Schnitthöhe von 50 mm bei gleichen Bewässerungsintervallen dargestellt (nach Zahlen von Madison, 1982)

und wird erst auf sehr häufig gemähten Rasenflächen, z. B. Golfgrüns, eine bedeutsame Größe.

Um eine letztlich maximale Wassereinsparung in der Bewässerung zu erzielen, ohne aber die Funktion des Rasens zu sehr einzuschränken, empfiehlt sich insbesondere bei Trockenheit das Mähen mit scharfen Messern bei einer Schnitthöhe, die vielleicht etwas über der für die jeweilige Fläche erwünschten liegt.

4.2. Düngung

Jede Pflegemaßnahme, die zur Vergrößerung von Blattfläche und Triebdichte führt, wird letztlich auch den Wasserverlust erhöhen. Da eine Stickstoffdüngung das Wachstum anregt, weisen Graspflanzen, die gut mit Stickstoff versorgt werden, einen erhöhten Wasserverlust auf. Eine Stickstoffdüngung in Hitzezeiten kann darüberhinaus auch noch die Durchwurzelung reduzieren, da die in den Wurzeln eingelagerten und zur Wurzelneubildung benötigten Reservestoffe zur Trieb- und Blattneubildung im Sproßteil umgeleitet werden. Unter diesen Umständen kann der Trockenstreß sogar noch erhöht werden.

Kalium hingegen erhöht die Trocken-, Hitze-, Kälte- und Krankheitsresistenz von Rasengräsern. Es fördert die Wurzelneubildung und die Durchwurzelung und hat somit wiederum Auswirkung auf die Beregnungshäufigkeit. Waddington et al. (1978) konnten zeigen, daß Kalium zu einer reduzierten Welkeanfälligkeit der Graspflanzen führt. Der Turgordruck innerhalb der Zellen bleibt länger stabil, die Pflanzen welken nicht, und die Grasnarbe bleibt länger belastbar, ohne daß bewässert werden muß. Schmidt

und Breuniger (1981) zeigten, daß sich ausreichend mit Kalium versorgte Gräser schneller vom Trockenstreß erholen.

Der Einfluß anderer Nährstoffe auf den Wasserverbrauch bzw. die Trockenstreßtoleranz der Rasengräser wird von den Autoren unterschiedlich bewertet. Allgemein kann jedoch festgestellt werden, daß die Wirkung der übrigen Nährstoffe auf den Wasserverbrauch im Vergleich zu anderen Einflüssen als gering eingestuft werden kann.

4.3. Belüften

Im Abschnitt ‚Belastung und Bodenverdichtung‘ werden die Auswirkungen der auf Golfplätzen üblichen Belastungen auf die Eigenschaften von Böden und Rasentragschichten und den Wasserverbrauch geschildert. Pflegemaßnahmen, die diese Verdichtungen beseitigen bzw. abschwächen, bewirken eine Förderung der Durchwurzelung und reduzieren damit den Wasserverbrauch der Beregnung.

Die übliche Pflegemaßnahme zur Beseitigung bzw. Verminderung von Bodenverdichtungen und damit zur Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes stellt das Belüften dar. Je nach Art und Umfang der Belüftungsmaßnahme verbessert das Aerifizieren die bodenphysikalischen Bedingungen. Porenvolumen und Wasserdurchlässigkeit werden erhöht und somit der Wasser- und Lufthaushalt des Bodens verbessert. Die verschiedenen Aerifizierarten beinhalten das eigentliche Aerifizieren (mit Hohl- bzw. Vollstacheln), das Schlitzeln bzw. Spiken, ein Wassereinspritzverfahren und das sogenannte Tiefenlockern.

Wie Untersuchungen zeigten, scheint insbesondere das sogenannte ‚Tiefenlockern‘ ausgesprochen positive Auswirkungen auf die Durchwurzelung in Bodenschichten tiefer als 20 cm aufzuweisen. Carrow (1988) fand sowohl eine Zunahme der Durchwurzelung um 30 bis 55%, als auch eine verbesserte Wasserausnutzung in Bodenschichten tiefer als 20 cm nach dem Einsatz eines Tiefenbohrgeräts. Die Folge war eine verbesserte Trockenstreßtoleranz der Grasnarbe und ein verringerter Beregnungswasserverbrauch.

Einige dieser Pflegemaßnahmen (Hohlstachelaerifizieren und Bohren) haben eine kurzfristige starke Schädigung der Grasnarbe zur Folge und stören, besonders auf den Grüns, den Spielbetrieb für eine gewisse Zeit. Diese Maßnahmen sind deshalb bei den Golfspielern nicht sehr beliebt. Mittel- und langfristig jedoch führen sie zu einer Verbesserung der Bodenbedingungen, daraus resultierend zur Verbesserung der Trockenstreßmechanismen und zu einer günstigen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes. Neben den verbesserten Spielbedingungen insbesondere auf den Grüns stellt eine Reduzierung des Wasserverbrauchs die wohl augenscheinlichste Erscheinung nach dem Aerifizieren dar.

5. Beregnungswasser

5.1. Verbrauch

Nach modellhaften Berechnungen und Untersuchungen des Deutschen Golf Verbandes und des Instituts für Grünlandlehre der Universität Hohenheim, durchgeführt auf der Grundlage einer Fragebogenaktion zum Wasserverbrauch auf Golfplätzen, liegt der durchschnittliche Wasserverbrauch im Jahr in Deutschland bei 857 mm auf Grüns und bei 647 mm auf Abschlägen. Auf einer 18-Loch-Golfanlage ergäbe dies einen durchschnittlichen Wasserverbrauch zur Bewässerung der Spielelemente Grün (655 m² einschl. Vorgrün) und Abschlag (222 m²) von ca. 12.700 m³ pro Jahr. Das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp, 1994) geht selbst für trockene Lagen von einem Beregnungsbedarf pro Jahr von 400 mm für Grüns und von 250 mm für Abschläge aus. Die hiervon deutlich abweichenden Zahlen aus der Praxis deuten demnach auf einen Trend zur Überbewässerung dieser Spielelemente hin. Ein ähnlicher Sachverhalt ist im übrigen auch vielfach für Nordamerika dokumentiert.

Auch wenn die Wasserverbrauchszahlen in diesem Umfang und in dieser Größe nicht unbedingt für alle Golfanlagen unterstellt werden können, weisen Beobachtungen aus der Praxis doch auf gewisse Unzulänglichkeiten in der Beregnung hin. Die Überbewässerung führt zu einer reduzierten Bodendurchlüftung und verstärkten Krankheitsanfälligkeit, zur Auswaschung von Nährstoffen und zu unerwünschten Veränderungen im Pflanzenbestand. Besonders die veränderten Sauerstoffgehalte und der langsame Gasaustausch können zu einer Anreicherung mit unerwünschten Arten, z.B. *Poa annua*, beitragen.

5.1.1. Pilzliche Krankheiten

Sowohl natürliche als auch zusätzliche Beregnungsgaben schaffen in und an der Grasnarbe ein Mikroklima, das in Verbindung mit entsprechend günstigen Temperaturen einen idealen Lebensraum für das Wachstum von Pilzerregern bildet. Beregnen in der Nacht führt deshalb in der Regel zu einem gesteigerten Pilzwachstum, da die niedrigeren Nachttemperaturen dafür sorgen, daß Wasser nicht verdunstet und freies Wasser länger in der Grasnarbe verbleibt. Die Bewässerung sollte deshalb, sofern möglich, immer in den Morgenstunden erfolgen, um den Zeitraum der Blattfeuchte und der hohen Luftfeuchte an der Grasnarbe möglichst kurz zu halten.

Neben dem Wachstumsschub für Pilzerreger im allgemeinen, kann eine lang andauernde, übermäßige

Tabelle 7:

Rasenkrankheiten, die besonders bei lang andauernden Nässeperioden auftreten (Anonymus 1997 und Dernoeden and Jackson, 1992)

Krankheit	Erreger	Befallene Grasarten
Schneeschimmel	<i>Microdochium nivale</i>	besonders <i>Agrostis spec.</i> (Straußgrasarten) und <i>Poa annua</i> (Jährige Rispe)
Blattflecken	<i>Drechslera spec.</i> , <i>Bipolaris spec.</i> ,	alle Rasengrasarten
Brown patch	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>R. cerealis</i>	alle Rasengrasarten, bes. <i>Poa spec.</i> (Rispengrasarten), <i>Agrostis spec.</i> (Straußgrasarten) und <i>Lolium perenne</i> (Dt. Weidelgras)
Pythium Fäule	<i>Pythium spec.</i>	alle Rasengrasarten, bes. <i>Agrostis spec.</i> (Straußgrasarten) und <i>Lolium perenne</i> (Dt. Weidelgras)
Graue Blattflecken	<i>Pyricularia grisea</i>	<i>Lolium perenne</i> (Dt. Weidelgras)

Nässe darüber hinaus für das Auftreten einiger Rasenkrankheiten, besonders der Fäulniskrankheiten, sorgen (Tabelle 7).

5.1.2. Unerwünschte Arten

Verändert die aus einer Belastung resultierende Verdichtung die bodenphysikalischen Voraussetzungen und führt eine zu häufige Bewässerung zu einem Überangebot an Wasser im Boden, scheinen von den Folgen nicht alle Graspflanzen gleichermaßen betroffen zu sein. Neben einigen Unkräutern, wie Breitblättriger Wegerich (*Plantago major*), Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*) und Löwenzahn (*Taraxacum officinale*), können insbesondere die Jährige Rispe (*Poa annua*) und teilweise auch die Bluthirse (*Digitaria sanguinalis*) zum Problem auf verdichteten und für die vorherrschenden Bodenverhältnisse zu häufig bewässerten Rasenflächen werden. Sie setzen sich gegenüber den erwünschten Arten besonders deshalb durch, da sie selbst unter diesen wassergesättigten Gegebenheiten und den geringen Bodensauerstoffgehalten zur Keimung und zum Wachstum befähigt bleiben. Die für einen akzeptablen Spielbetrieb notwendigen erwünschten Arten werden verdrängt.

Die Ausbreitung der Jährigen Rispe (*Poa annua*) kann besonders auf Grüns zum Problem werden. Während ihre hellgrüne Farbe, die sich sehr deutlich von der Färbung der meisten anderen Grasarten abhebt, nur ein ästhetisches Problem darstellt, verhindern die ständige Blütenhalmbildung und der horstförmige Wuchs einen treuen, gleichmäßigen Ballauf auf den Grüns. Die bereits angesprochene sehr schlechte Trockentoleranz dieser Grasart erfordert ein häufigeres Bewässern, was zu einem noch höheren Wasserverbrauch führt und den Pflanzenbestand immer weiter hin zu den unerwünschten Arten verändert. Diesem Problem kann nur durch die Verwendung einer geeigneten sandreichen Rasentragschicht und durch eine sehr spar-

same, eingeschränkte Bewässerung vorgebeugt werden.

5.2. Beschaffung

93% der an einer Umfrageaktion beteiligten deutschen Golfplätze entnehmen das zur Bewässerung notwendige Wasser entweder ganz oder teilweise dem Grundwasser bzw. dem öffentlichen Leitungsnetz. Dies kann unter Umständen besonders dann kritische Auswirkungen zeigen, wenn aufgrund geringer Niederschlagsmengen und hoher Temperaturen der Bewässerungsbedarf ansteigt und der Bedarf der natürlichen Vegetation und an den Entnahmestellen für private Haushalte bzw. der Industrie ebenfalls entsprechend hoch ist. Aus der Sicht einer wassersparenden und umweltschonenden Bewässerung und zur Entlastung des öffentlichen Leitungsnetzes bzw. des Grundwassers sollte in diesem Zusammenhang je nach Lage und Standort des Golfplatzes auf eventuell vorhandene Fließgewässer bzw. auf Speicherteiche zurückgegriffen werden. Zu prüfen wäre auch, inwieweit gesammeltes Wasser von Parkplätzen und anderen befestigten Flächen bzw. Dächern oder die Verwendung von gereinigtem Abwasser in die Bewässerung mit eingebunden werden kann.

5.3. Qualität

Die Verwendung von wiederaufbereitetem bzw. gereinigtem Abwasser zur Golfplatzbewässerung ist in Deutschland noch unerforscht und wird so gut wie nicht angewandt. In ariden bzw. sehr heißen Regionen mit regelmäßig auftretender Trinkwasserknappheit im Sommer und relativ hoher Golfplatzdichte wie z. B. in einigen Bundesstaaten der USA (Kalifornien, Arizona, Florida) ist die Beregnung mit gereinigtem Abwasser jedoch weit verbreitet. Über 10% aller Golfanlagen in den USA wurden bereits vor 10 Jahren mit wiederaufbereitetem Wasser be-

regnet, der Großteil davon eben in Kalifornien, Arizona und Florida (Payne, R., 1987). Bauherren und Betreiber von Golfanlagen können in diesen Regionen von den lokalen Behörden zur Bewässerung mit Abwasser und zur Abnahme gewisser Festmengen verpflichtet werden (Hayes et al., 1990). Im Gegenzug verpflichten sich die Behörden, das Wasser hinsichtlich seiner Qualität ständig innerhalb gewisser Toleranzgrenzen zur Verfügung zu stellen.

Vorteile der Verwendung von aufbereitetem bzw. gereinigtem Abwasser sind seine ständige Verfügbarkeit in hohen Mengen insbesondere dann, wenn der Wasserbedarf entsprechend hoch ist. Daneben kann auch der Preisvorteil von Bedeutung sein. Aufbereitetes Wasser sollte eigentlich immer kostengünstiger als Wasser in Trinkqualität zur Verfügung stehen, wenn nicht sogar kostenlos. Mit in die Kostenkalkulation sollte jedoch auch eine eventuelle Installation einer Rohrleitung vom Wasserlieferanten zum Golfplatz aufgenommen werden. Selbst wenn der Preis von gereinigtem Wasser dann ähnlich hoch bzw. gleich dem von Trinkwasser ist, ist der tatsächliche Wert um ein vielfaches höher einzustufen, da die Verfügbarkeit auch dann gewährleistet ist, wenn die von Trink- bzw. Grundwasser eingeschränkt sein könnte. Weiterhin von Vorteil kann der Gehalt an bestimmten Nährstoffen im Wasser sein. Insbesondere Nitrat, Phosphat und Kalium, drei sehr häufig auftretende Salze in aufbereitetem Wasser, stellen auch Hauptnährstoffe in der Rasendüngung dar und könnten so in der Düngung eingespart werden.

Nachteilig können sich in diesem Zusammenhang die biologischen und chemischen Inhaltsstoffe des

Bewässerungswassers auswirken, wenn der Gehalt bestimmte Schadschwellen überschreitet. Die biologische Zusammensetzung des Bewässerungswassers ist hierbei von besonderer Bedeutung, da damit eventuell pathogene Bakterien und Viren verbreitet werden könnten. Wissenschaftler aus Ländern, die auf dem Gebiet der Abwasserbereinigung bereits erheblich mehr Erfahrung aufweisen als Deutschland, schätzen dieses Risiko als äußerst gering ein, wenn die Abwasseraufbereitung nach dem neuesten Stand der Technik geschieht und das Wasser regelmäßig untersucht wird (Harivandi, H., 1993). Darüber hinaus kann der Kontakt mit dem Bereinigungswasser vermieden werden, wenn die Bewässerung außerhalb der Spielzeiten stattfindet.

Neben der biologischen kann sich auch die chemische Zusammensetzung des aufbereiteten Bereinigungswassers negativ auf die Grasnarbe auswirken. Wenn der Salzgehalt die Toleranzschwelle der Graspflanzen übersteigt, zeigen sich Trocken- und Ernährungsschäden, da die Graswurzeln kein Wasser mehr aufnehmen können. Grasarten unterscheiden sich jedoch in ihrer Salzverträglichkeit. Tabelle 8 zeigt eine Klassifizierung der gebräuchlichsten Rasengräser hinsichtlich ihrer Salztoleranz. Bei optimaler Pflege und guten Wachstumsbedingungen kann sich die Salzverträglichkeit der Gräser jedoch erhöhen.

Der Salzgehalt in aufbereitetem Wasser ist in der Regel hoch und kann besonders auf schlecht drainierenden schweren Lehmböden zu Schädigungen an der Grasnarbe führen. Eine genaue Wasseruntersuchung und Beurteilung hinsichtlich des Gesamtsalzgehaltes, des Härtegrades sowie des Gehaltes

Tabelle 8:
Salztoleranz der gebräuchlichsten Rasengräser
(Harivandi et al., 1992)

Salzverträglichkeit	Grasart
gering	Jährige Rispe (<i>Poa annua</i>)
	Wiesenrispe (<i>Poa pratensis</i>)
	Gemeine Rispe (<i>Poa trivialis</i>)
	Rotes Straußgras (<i>Agrostis capillaris</i>)
mäßig	Welsches Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i>)
	Horstrotschwingel (<i>Festuca rubra commutata</i>)
	Ausläuferrotschwingel (<i>Festuca rubra rubra</i>)
	Flechtstraußgras (<i>Agrostis stolonifera</i>)
mittel	Dt. Weidelgras (<i>Lolium perenne</i>)
	Kurzausläufer-Rotschwingel (<i>Festuca rubra trichophylla</i>)
	Rohrschwingel (<i>Festuca arundinacea</i>)
gut	Hundszahn (<i>Cynodon dactylon</i>)

Tabelle 9:
Tolerierbare Höchstgehalte anorganischer Inhaltsstoffe (BISp, 1994)

Stoff	Einheit	maximal
Gesamthärte	° dH	30
Carbonathärte	° kH	25
Gesamtsalz	mg/l	1500
Natrium (Na ⁺)	mg/l	150
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	300
Bor (B ⁻)	mg/l	0,5
Eisen (Fe ²⁺)	mg/l	1
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	300

an einigen Einzelverbindungen wie Nitrat, Calcium, Natrium, Kalium, Chlorid und Eisen sowie von Sulfat ist unbedingt zu empfehlen. Die tolerierbaren Höchstgehalte anorganischer Inhaltsstoffe sind in Tabelle 9 angegeben.

6. Bewässerungstechnik

6.1. Optimale Bewässerung

Die Zusatzbewässerung erfolgt auf Golfplätzen in der Regel durch eine Beregnungsanlage mit Versenkregnern. Diese sollte nicht nur Wasser gleichmäßig und in den erforderlichen Mengen ausbringen, sondern auch in der Lage sein, mittels zusätzlicher technischer Einrichtungen den tatsächlichen Wasserbedarf der Grasnarbe zu ermitteln, um die Zusatzbewässerung auf ein realistisches Minimum zu beschränken. Im Konzept einer optimalen Bewässerung sollte darüber hinaus der Wirkungsgrad der Bewässerung möglichst hoch sein. Die Menge an entnommenem Wasser und die Menge des letztlich den Rasenpflanzen zur Verfügung stehenden Wassers sollte übereinstimmen.

6.2. Einflußfaktoren

Faktoren, die den Wirkungsgrad einer Bewässerungsanlage beeinflussen, sind mögliche Wasserverluste und die Gleichmäßigkeit der Verteilung. Die bauartbedingte ungenaue Wasserverteilung durch überlappende Wurfflächen der einzelnen Regnerköpfe und eine bei entsprechenden Wetterverhältnissen nicht zu korrigierende Windabdrift führt zur Über- oder Unterbewässerung einzelner Stellen in den Rasenflächen. Schulz (1997) konnte in einer Untersuchung zur Verteilgenauigkeit von Sprinkleranlagen Niederschlagsunterschiede von bis zu 2000% (in Worten: zweitausend) feststellen.

Zur Optimierung der Bewässerungsanlage und zur Reduzierung des Wasserverbrauchs ist deshalb die Überprüfung der Verteilgenauigkeit einmal im Jahr auf den besonders hoch beanspruchten Spielelementen Grüns und Abschläge unbedingt notwendig.

Um einen ersten Überblick zu bekommen, genügt zunächst die Aufstellung von etwa zehn auf dem Grün verteilten Auffanggefäßen. Nach mindestens 15 Minuten Beregnung möglichst bei Windstille wird die in den Gefäßen enthaltene Wassermenge mit Hilfe eines Meßzylinders gemessen. Bis zu 25% Unterschied zum Mittelwert können toleriert werden. Bei größeren Differenzen ist eine genauere Messung nach DIN 18035 Blatt 2 mit erhöhter Anzahl von Auffanggefäßen sowie eine Überprüfung und Neueinstellung der Regner notwendig. Zur exakteren Feststellung der Verteilgenauigkeit eignet sich das im Anhang vorgestellte Verfahren zur Ermittlung eines Gleichmäßigkeitskoeffizienten C_u . Koeffizienten zwischen 0,8 und 1 weisen auf ausgesprochen gute Verteilgenauigkeiten hin. Zahlen zwi-

schen 0,7 und 0,8 sind in der Praxis die Regel und beweisen eine gut eingestellte und gewartete Anlage. Anlagen mit Werten kleiner als 0,7 sollten überprüft werden. Schlecht platzierte, nicht ausreichend dimensionierte bzw. defekte Regner könnten für die ungleichmäßige Verteilung verantwortlich sein.

6.2.1 Überlappende Wurfflächen, Windabdrift und Evaporationsverluste

Eine Beregnungsanlage mit einer noch durchschnittlichen Verteilgenauigkeit versorgt nach Solomon and Jorgensen (1992) aufgrund von bauartbedingten überlappenden Regnerwurfflächen die Grasnarbe mit 150% der notwendigen Wassermenge. Diese doch teilweise mangelhafte bauart- bzw. klimabedingte Wasserverteilung wird in der Regel toleriert. Nach der DIN (Anonymus, 1991) gilt eine 25%ige Abweichung vom Mittelwert der Beregnungsmenge unter **windstillen** Bedingungen als noch normgerecht.

Den Einfluß eines relativ schwachen Windes in einer Stärke von 12 km/h auf die Wasserverteilgenauigkeit zeigt Abbildung 8. Die berechnete Fläche wird in Windrichtung verschoben und verkleinert sich um etwa 30 bis 50%.

Untersuchungen aus der Landwirtschaft zeigen, daß die Wassermengen, die während und nach der

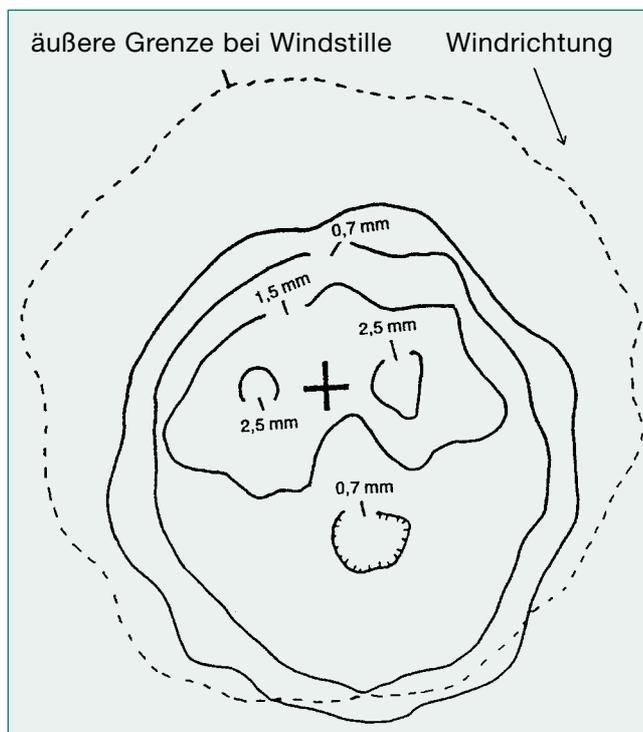


Abbildung 8: Verteilgenauigkeit eines Sprinklers bei Windstille (- - -) und unter Windeinfluß (—; Windstärke 12 km/h) (Solomon, 1990)

Beregnung ohne Nutzen für die Pflanze verdunsten, je nach Tageszeit der Bewässerung bis zu 90% des Wassers betragen können. Um Verluste aus Windabdrift und Evaporation möglichst gering zu halten, sollte das Bewässern bei Dunkelheit und Windstille erfolgen.

6.2.2 Bewässerungssteuerung

Der für den Pflegebetrieb auf Golfanlagen verantwortliche Personenkreis ist in der Regel nicht in der Lage, zur Bewässerungssteuerung auf technische Hilfsmittel zurückzugreifen, die den Bezug zum tatsächlichen Wasserbedarf der Grasnarbe herstellen. Um die Funktionsfähigkeit von Rasenflächen unter allen Umständen zu erhalten, erfolgt eine Bewässerung deshalb häufig vorsorglich. Diese ‚freihändige‘ Bewässerung, lediglich unter Zuhilfenahme von Zeitschaltuhren, führt letztlich zu einer Überversorgung von Teilflächen des Rasens mit Wasser und den geschilderten negativen Begleiterscheinungen.

Youngner et al. (1981) konnten in diesem Zusammenhang nachweisen, daß Steuerung von Bewässerungsanlagen mittels Bodenfeuchtemessungen erhebliche Wassereinsparungen gegenüber einer „augenscheinlichen“ Beregnungssteuerung bietet, ohne die Qualität des Rasens zu mindern. Eine exakte Ermittlung von Bewässerungsmenge und -zeitpunkt mit Hilfe von Bodenfeuchtemessungen führte bei Cull (1989) zu einem tiefer ausgebildeten Wurzelsystem und damit zu Wassereinsparungen im Vergleich zur Rasenberegnung ohne Bodenfeuchteermittlung. Der Einbau von Gipsblöcken und Thermometern in die Rasentragschicht eines Grüns, mittels deren Bodenfeuchtwerte sich die Bewässerungsanlage steuern ließ, erbrachte nach den Ergebnissen einer Untersuchung von Sainsbury (1993) eine Wassereinsparung von 60% gegenüber einer herkömmlichen automatischen Beregnung in regelmäßigen Abständen.

Als weiteres Verfahren zur exakten Erfassung der Bodenfeuchte bietet sich die ‚TDR‘-(Time Domain Reflectometry) Methode an. Die ausreichende Genauigkeit der Bodenfeuchtebestimmung mittels TDR-Sonden im Vergleich zu anderen am Markt erhältlichen Sonden ist ausreichend dokumentiert. Saffel (1994) bewies die Tauglichkeit der TDR-Messmethode zur Bestimmung von Bodenwassergehalten unter Strapazierrasen in lehmigen Sandböden und Leinauer (1997) zeigte eine ausgesprochen gute Genauigkeit der Wassergehaltsmessung in einer sandreichen Rasentragschicht.

Da Bodenfeuchtesensoren in der Steuerung von Bewässerungsanlagen auf Golfplätzen in Deutschland bisher noch nicht angewendet werden, wird die Inbetriebnahme der Regner lediglich

über Zeitschaltuhren gesteuert. Es ist davon auszugehen, daß der hier zugrundeliegende Automatismus und der Mangel an Kontrolle der Bewässerungselemente in der Praxis eine der Hauptursachen für die Überbewässerung von Rasenflächen darstellt.

6.3. Alternative Bewässerungsmöglichkeiten

Wenige wissenschaftliche Untersuchungen beschäftigten sich bisher mit dem Einfluß alternativer Bewässerungsarten auf den Wasserverbrauch in der Rasenbewässerung. Insbesondere die Mikro- bzw. Unterflurbewässerung zeigt im Gegensatz zur Sprinkler- bzw. Überkopfberegnung großes Potential hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Wassereinsparungsmöglichkeiten. Mit dem Begriff ‚Mikro-‘ oder ‚Tröpfchenbewässerung‘ wird die Wasserabgabe aus – entweder auf der Bodenoberfläche ausgelegten oder im Boden in entsprechender Tiefe vergrabenen – perforierten Röhren bezeichnet. Bewässerungssysteme dieser Art kommen nicht nur in der Landwirtschaft bzw. im Gartenbau, sondern auch im Bereich der Strapazier- und Landschaftsrasen zur Anwendung. Weiterentwicklungen aus diesem Bereich stellen die beiden patentierten Unterflurbe- und -entwässerungssysteme, das Cellsystem und das aus dem Purr-Wick-System hervorgegangene PAT-System, dar. Sie eignen sich besonders für den Einsatz auf begrenzten Flächen mit einem Aufbau aus genormten Tragschichten (auf Abschlügen und Grüns auf Golfplätzen) und vereinigen in einem ein-

zigen Rohrsystem sowohl Bewässerung als auch Entwässerung.

Mit Mikro- und daraus abgeleiteten Bewässerungssystemen soll im Vergleich zu herkömmlich arbeitenden Sprinkleranlagen ein Wasser- und Kostenspareffekt erreicht werden. Rasenflächen können während der Bewässerung bespielt werden, der Bewässerungsvorgang ist durch keine Windabdrift beeinträchtigt, und es treten weder Verdunstungsverluste beim Beregnungsvorgang an sich und keine mehrfach bewässerten Stellen durch überlappende Regnerwurfllächen auf. Sowohl Skirde (1978) als auch Leinauer (1997) berichten in diesem Zusammenhang von einer erhöhten Wasserverteilgenauigkeit bei dieser Art der Bewässerung.

Chevallier et al. (1981) konnten eine 50%ige Wassereinsparung auf einer unterflurbewässerten Rasenfläche mit Sand als Wachstumssubstrat nachweisen. Im Vergleich hierzu stand eine mit Sprinklern herkömmlich bewässerte Fläche auf Oberboden als Rasentragschicht. Auf 50 bis 60% schätzt Stroud (1987) das Wassereinsparungspotential der Mikrobewässerung im Vergleich zur herkömmlichen Sprinklerberegnung. Leinauer (1997) und Morhard (1997) zeigten übereinstimmend eine 90%ige Wassereinsparung der Unterflurbewässerung gegenüber einer herkömmlichen Sprinklerberegnung auf Sand bzw. auf einer sandreichen Rasentragschicht.

Verantwortlich für diese sehr deutlichen Wassereinsparungen sind, neben der überlegenen Wasserverteilungstechnik, die verbesserten Trockenheitsver-

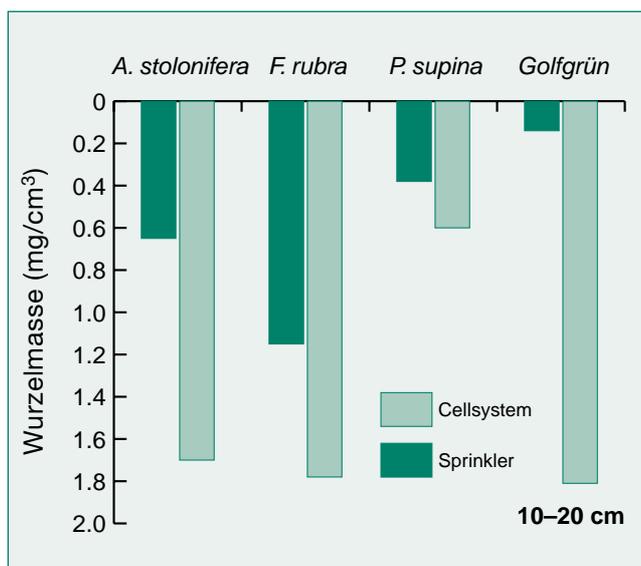


Abbildung 9: Wurzelmasse unter verschiedenen bewässerten Grasarten und Golfgrüns (Schnitthöhe 5 mm) in 10 bis 20 cm Bodentiefe

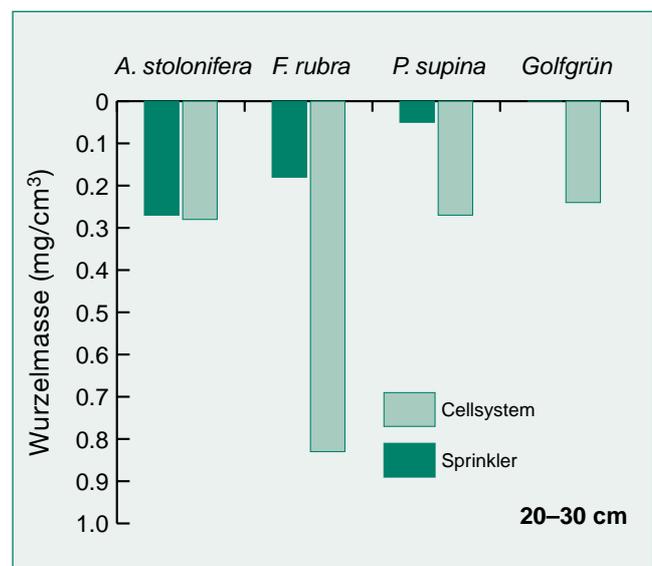


Abbildung 10: Wurzelmasse unter verschiedenen bewässerten Grasarten und Golfgrüns (Schnitthöhe 5 mm) in 20 bis 30 cm Bodentiefe

meidungsmechanismen der Gräser (Leinauer, 1997; Krans und Johnson, 1974). Besonders Leinauer (1997) fand in seinen Untersuchungen höhere Wurzelgewichte (Abbildungen 9 und 10) in den tiefer gelegenen Schichten der unterflurbewässerten Rasenflächen und folgerte daraus eine verbesserte Streß- und Hitzetoleranz der Gräser.

Die Unterflurbewässerung wird in Deutschland mit ausgesprochenem Erfolg auf jeweils 18 Grüns zweier Golfplätze angewandt. Wissenschaftliche Untersuchungen und erfolgreiche Anwendung in der Praxis beweisen, daß dieses patentierte Bewässerungsverfahren eine wassersparende und praktikable Alternative zu den herkömmlichen Beregnungssystemen auf Strapazierrasen darstellt.

7. Umfrageergebnisse

Zur Ermittlung aktueller Bewässerungsmengen auf Golfplätzen in Deutschland wurde vom Deutschen Golf Verband, vom Greenkeeper Verband Deutschland und vom Fachgebiet Grünlandlehre der Universität Hohenheim, auf der Basis einer Umfrageaktion des Hessischen Golf-Verbandes von 1996, ein Fragebogen erarbeitet und im Frühjahr 1997 an ausgewählte Golfclubs in Deutschland verschickt. Die Daten von 16 Golfplätzen konnten zur Berechnung modellhafter Wasserverbrauchszahlen herangezogen werden.

15 von 16 Golfplätzen entnehmen das zur Bewässerung notwendige Wasser ganz oder teilweise dem Grundwasser bzw. dem öffentlichen Leitungsnetz. Auf acht Plätzen wird Beregnungswasser ausschließlich dem Grundwasser entnommen, zwei Golfanlagen beregnen nur mit Trinkwasser und entnehmen durchschnittliche 6.500 m³ im Jahr. Ein Golfplatz bewässert ausschließlich aus einem Fließgewässer bzw. Speicherteich.

Lediglich vier der 16 Golfanlagen weisen eine komplette Fairwayberegnung auf allen Spielbahnen auf und können den Verbrauch auch entsprechend feststellen. Sie benötigen im Durchschnitt für 18 Spielbahnen ca. 30.000 m³ pro Jahr zur Beregnung. Drei Golfanlagen bewässern einen Teil der 18 Spielbahnen nur automatisch bzw. mit Schlauchanlagen von Hand. Der Wasserverbrauch konnte hier nicht ermittelt werden.

Aus den vorhandenen Angaben zu Anzahl der Löcher, Größe der Grüns und Abschläge, Anzahl der Sprinkler pro Grün und Abschlag, Bewässerungstage und Bewässerungsdauer wurde unter Einbeziehung einiger Annahmen zu Regnergröße und Wasserdruck versucht, eine Modellberechnung zum Wasserverbrauch der Golfplätze lediglich für Grüns und Abschläge aufzustellen. Für Regner am Grün wurde ein Wasserverbrauch von 5 m³/h zugrundegelegt, Sprinklern am Abschlag wurden 2 m³/h unterstellt. Eventuell bewässerte Übungsbahnen bzw. Übungsgrüns oder Kurzplätze fanden keinen Ein-

Tabelle 10:
Durchschnittliche jährliche Wasserverbrauchszahlen und Beregnungsmengen für 18 Grüns bzw. Abschläge (errechnet auf der Basis einer Fragebogenaktion von 16 Golfplätzen in Deutschland)

	Wasserverbrauch (m ³ /Jahr)	Beregnungsmenge (mm)
Grüns	9.720	857
Abschläge	2.591	647

gang in diese Berechnung. Die so für jeden Golfplatz errechneten durchschnittlichen Wasserverbrauchszahlen (Tabelle 10) ergaben pro Jahr für 18 Grüns 9.720 m^3 (=857 mm) und für 18 Abschläge 2.591 m^3 (= 647 mm).

Für 13 der 16 Golfanlagen zeigten diese hochgerechneten Zahlen eine ausgesprochen gute Übereinstimmung mit den tatsächlich ermittelten (Wasseruhr!) Verbrauchswerten.

Windexposition des Golfplatzes, jährliche Niederschlagssumme (langjähriger Durchschnitt) bzw. die Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode von April bis September (ebenfalls langjähriger Durchschnitt) hatten auf den Wasserverbrauch keinen signifikanten Einfluß. Ohne Bedeutung für den Beregnungswasserverbrauch war die Art des anstehenden Oberbodens.

8. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Kenntnisse über die Wasseraufnahme der Pflanzen, den Wasserbedarf von Rasenflächen sowie den Standort und die Pflege werden vermittelt, um Maßnahmen zur Wassereinsparung bei Beregnung ergreifen zu können.

Beobachtungen aus der Praxis und die Fragebogenaktionen zeigen, daß Rasenflächen von Golfanlagen aufgrund einer Vielzahl von Faktoren zu häufig mit zuviel Wasser beregnet werden. Diese Überbewässerung hat sowohl ökologisch (hoher Grundwasserverbrauch), als auch physiologisch (erhöhter Krankheits- und Ungrasdruck) und spieltechnisch (inhomogene Grasnarbe) negative Folgen. Maßnahmen, die die Senkung des Beregnungswasserverbrauchs zum Ziel haben, müssen sich auf die vier folgenden Bereiche erstrecken:

Bau- und Pflegemaßnahmen, die ein intensives und tiefes Wurzelsystem der Graspflanzen fördern und erhalten,

Einbau einer geeigneten, ausreichend dimensionierten und sinnvoll steuerbaren Bewässerungsanlage,

regelmäßige Pflege und Wartung der Bewässerungsanlage und regelmäßige Überprüfung der korrekten Wasserverteilung und

Berücksichtigung alternativer und wassersparender Bewässerungsmöglichkeiten beim Bau neuer Golfanlagen.

Summary and conclusions

The water requirements of turf grass areas were assessed for making recommendations for irrigation management.

Surveys and on site observations show that turf areas on golf courses are very often over-irrigated. Over-irrigation not only has an ecological impact (waste of ground or drinking water), it also affects turf quality (increased disease susceptibility and weed infestation) and playability (uneven, heterogeneous playing surface). Measures that aim for the reduction of irrigation should focus on the following areas:

Construction methods and maintenance regimes that encourage and maintain a deep and extensive rooting system for the turf grasses,

Use of an efficient and properly designed irrigation system that can be scheduled according to plant water needs,

A regular check and maintenance of the irrigation system and regular audits of the distribution uniformity,

Consideration of alternative means of irrigation when planning new golf courses.

9. Literaturverzeichnis

Agnew, M.L., and R.N. Carrow, 1985: Soil compaction and moisture stress preconditioning on Kentucky bluegrass. I. Soil aeration, water use, and root responses. *Agron. J.* 77, 872-878.

Anonymus, 1991: DIN 18035, Teil 4: Sportplätze – Rasenflächen. In: DIN-Taschenbuch 81, Landschaftsbauarbeiten VOB/StLB/STLK. Beuth Verlag 1994.

Anonymus, 1996: Protokoll der Arbeitsgruppensitzung „Wassersparen im Golfsport“ am Montag, den 07. Oktober 1996 im Golfclub „Lindenhof“ in Bad Vilbel. Hessischer Golf-Verband und Landessportbund Hessen.

Anonymus, 1997: Diagnose- und Therapiehandbuch für Rasenkrankheiten. Eurogreen Grün-Systeme, Wolf Geräte GmbH Vertriebsgesellschaft KG, 42 S.

Beard, J.B. and K.S. Kim, 1989: Low Water Use Turfgrasses. *USGA Green Section Record* January/February 1989, 12-13.

Beard, J.B., 1973: *Turfgrass Science and Culture*. Prentice Hall, Inc.

BISp, 1994: Grundsätze zur funktions- und umweltgerechten Pflege von Rasensportflächen, Teil II: Wassersparende Maßnahmen. Hrsg. Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp), Köln.

Carrow, R.N., 1988: Cultivation methods on turfgrass water relationships and growth under soil compaction. 1988 *Turfgrass Res. Summary*, USGA Green Section, Far Hills.

Chevallier, C., M. Corbet, and J.P. Guérin, 1981: Use of Low Density Materials as Substratum For Concrete Platform With Subirrigation. In: R.W. Sheard (ed.), *Proceedings of the Fourth International Turfgrass Research Conference*, University of Guelph, Canada, 233-240.

Cook, T.W., 1982: Drought Tolerance and Water Use Requirements for Cool Season Grasses In: *The Irrigation Association (ed.), 1982 Annual Technical Conference Proceedings: Water, Energy and Economic Alternatives*, 133-139.

Cull, P., 1989: How To Spend Less of Your Time Watering and Mowing. *Turf Craft Aust.*, July/August 1989, 36-38.

Dernoeden, P. and N. Jackson, 1992: Disease Identification and Control. Lehrmaterial zum GCSAA Seminar ‚Disease Identification and Control‘, February 12-13, New Orleans, Louisiana.

- Harivandi, H., 1993: Using reclaimed water for golf course irrigation. *Golf Course Management* July 1993, 28-38.
- Harivandi, H., J.D. Butler, and L. Wu, 1992: Salinity and Turfgrass Culture. In: D.V. Waddington, R.N. Carrow, and R.C. Shearman (co-eds.), *Turfgrass*. 207-267.
- Hayes, A.R., C.F. Mancino, W.Y. Forden, D.M. Kopeck, and I.L. Pepper, 1990: Irrigation of Turfgrass with Secondary Sewage Effluent: II. Turf Quality. *Agronomy Journal* 82, 943-946.
- Huber, A., 1995: Einfluß von Trockenperioden und Belastung auf einige Rasengrasarten. Diplomarbeit, Institut für Pflanzenbau und Grünlandlehre, Universität Hohenheim.
- Hummel, N. W., 1993: Rationale for the Revisions of the USGA Green Constructions Specifications. *USGA Green Section Record* March/April 1993, 7-21.
- Leinauer, B., 1997: Einfluß von Bewässerungsart auf Wasserverbrauch, Trockenstreß- und Regenerationsverhalten einiger Rasengrasarten. Diss. Univ. Hohenheim (in Druck).
- Leinauer, B., H. Jacob und H. Schulz, 1991: Einfluß der Dauer von Trockenperioden auf die Regeneration einiger Rasengrasarten. *Rasen Turf Gazon* 22/2, 30-37.
- Krans, J.V. and G.V. Johnson, 1974: Some Effects of Subirrigation on Bentgrass During Heat Stress in the Field. *Agron. J.* 66, 526-530.
- Madison, J.H., 1982: *Principles of Turfgrass Culture*. Robert E. Krieger Publishing Company.
- Morhard, J., 1997: Einfluß von Bewässerungsart und Schnitthöhe auf den Wasserverbrauch einiger Grasarten bzw. Mischungen. Diplomarbeit, Univ. Hohenheim.
- Pair, C.H., W.W. Hinz, C. Reid, and K.R. Frost, 1983: *Irrigation*. Fifth Edition, Second Printing. Published by the Irrigation Association, Arlington, Virginia. 686 S.
- Payne, R.A., 1987: Resource Conservation: The Golf Course's Role. *Golf Course Management*, October 1987, 50-58.
- Saffel, M., 1994: Time Domain Reflectometry Based Turfgrass Irrigation Scheduling. M.Sc. Thesis, Michigan State University.
- Sainsbury, C., 1993: Accurate Irrigation. *Greenkeeper International*, August 1993, 37-39.
- Salaiz, T.A., R.C. Shearman, T.P. Riordan, and E.J. Kinbacher, 1991: Creeping Bentgrass Cultivar Water Use and Rooting Responses. *Crop Science* 31, 1331-1334.
- Schmidt, R.E., and J.M. Breuninger, 1981: The effects of fertilization on recovery of Kentucky bluegrass turf from summer drought. In: R.W. Sheard (ed.), *Proc. 4th Int. Turfgrass Res. Conf.*, Guelph, ON, Canada, 333-340.
- Schulz, H., 1997: Verteilgenauigkeit bei Berechnung von Sportrasenflächen. *Rasen Turf Gazon* 28/1, 5-7
- Skirde, W., 1978: Ergebnisse zur Unterflurbewässerung von Rasensportplätzen. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* 1/78, 21-27.
- Solomon, K.H., 1990: Wind effects. *Grounds Maintenance*, April 1990, 12-14.
- Solomon, K.H. and G. Jorgensen, 1992: Subsurface Drip Irrigation. *Grounds Maintenance*, October 1992, 24-26.
- Stroud, T., 1987: Subsoil Irrigation Systems. *Grounds Maintenance*, February 1987, 80-83.
- Turgeon, A.J., 1991: *Turfgrass Management*. Prentice Hall, Inc.
- Waddington, D.V., T.R. Turner, J.M. Duich, and E.L. Moberg, 1978: Effect of fertilization on 'Pennncross' creeping bentgrass. *Agron. J.* 70, 713-718.
- Youngner, V.B., 1985: Physiology of water use and water streß. In: *Turfgrass – Water Conservation*, Publication 21405, Cooperative Extension, University of California.
- Youngner, V.B., A.W. Marsh, R.A. Strohmman, V.A. Gibeault, and S. Spaulding, 1981: Water Use and Turf Quality of Warm Season and Cool Season Turfgrasses. In: R.W. Sheard (ed.). *Proc. 4th Int. Turfgrass Res. Conf.*, Univ. Guelph, Ontario, Canada, 251-257.

Anhang

Berechnung des Gleichmäßigkeitskoeffizienten ‚C_u‘

Die Berechnung des Gleichmäßigkeitskoeffizienten ‚C_u‘ nach Christiansen (Pair et al., 1983) einer sprinklerbewässerten Fläche gibt Aufschluß über die durchschnittliche Gleichmäßigkeit, mit der das Wasser über die Fläche verteilt wird. Der ‚C_u‘ verrechnet nur die Abweichungen vom Mittelwert der jeweiligen Auffangbehälter. Er unterscheidet nicht, ob die jeweiligen Stellen zu viel oder zu wenig bewässert werden. Je näher der ‚C_u‘ an 1 liegt, desto gleichmäßiger ist die Beregnungsanlage.

Der Gleichmäßigkeitskoeffizient nach Christiansen ist folgendermaßen definiert:

$$C_u = 1 - \frac{D}{M}$$

$$D = \frac{\text{Summe}[x_i - M]}{N} = \text{durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert}$$

$$M = \frac{\text{Summe}(x_i)}{N} = \text{durchschnittliche Auffangmenge}$$

x_i = einzelne Niederschlagsmengen

N = Anzahl der Auffangbehälter

Zur Berechnung des Gleichmäßigkeitskoeffizienten eines Grüns werden über die gesamte Fläche Auffangbehälter in regelmäßigen Abständen aufgestellt

(Abbildung 12). Anschließend wird die Fläche über einen Zeitraum, der einem durchschnittlichen Bewässerungsdurchgang entspricht, beregnet und die aufgefangenen Wassermengen eines jeden einzelnen Gefäßes unter Zuhilfenahme eines Meßzylinders bestimmt.

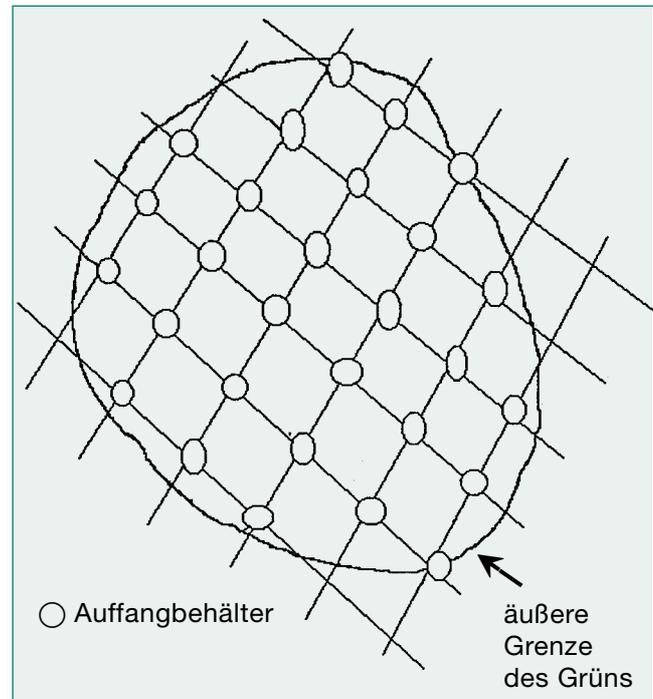


Abbildung 12: Verteilung mehrerer Auffangbehälter auf einem Golfgrün zur Bestimmung des Gleichmäßigkeitskoeffizienten

