

Universität für Bodenkultur, Wien Department für Bautechnik und Naturgefahren Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau



# **Beschattungspotenzial von Ufervegetation**

# Ein Modellversuch zur Strahlungsdurchlässigkeit der Purpurweide (Salix purpurea)

Masterarbeit Eingereicht von:

## **Alexander Reiner**

Masterstudium Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

Studienkennzahl 066 419

Betreuer:

O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth

DI Gerda Holzapfel

Danke... Ich möchte mich auf diesem Weg bei allen bedanken, die mich während meiner Studienzeit unterstützt und zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben. Besonders möchte ich mich bei DI Gerda Holzapfel für die freundliche Betreuung und die Unterstützung bei der Datenerhebung bedanken.

### Inhatsverzeichnis

A.	Kurz	zfassung	
B.	Abst	tract	5 -
1	Einle	eitung	6 -
	1.1 I	Entstehung der Fließgewässer	8 -
	1.2 I	Fließgewässer in Österreich	9 -
2	Besc	chattung	12 -
	2.1 \$	Strahlung	12 -
	2.1.1	Definition von Solarstrahlung	12 -
	2.1.2	Spektrale Eigenschaften der Sonnenstrahlung	13 -
	2.1.3	Strahlungsarten	15 -
	2.1.4	Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)	16 -
	2.1.5	Strahlungszusammensetzung beim Durchgang durch die Pflanze	18 -
	2.1.6	Methoden der Strahlungsmessung	21 -
	2.2 I	Beschattung an Fließgewässern	24 -
	2.2.1	Beschattung durch Ufervegetation	24 -
	2.2.2	Wärmehaushalt der Fließgewässer	26 -
	2.2.3	Abiotische Faktoren der Beschattung	27 -
	2.2.	.3.1 Licht und Strahlung	27 -
	2.2.	.3.2 Temperatur	30 -
	2.2.	.3.3 Sauerstoffgehalt	34 -
	2.2.4	Biotische Faktoren der Beschattung	37 -

2.2.4.1 Licht und Primärproduktion 37 -
2.2.4.2 Temperatur und Sauerstoff 38 -
3 Modellversuch zur Beschattung 41 -
3.1 Modellaufbau und Funktionsweise 42 -
3.1.1 Stecksystem 45 -
3.1.2 Messroboter 47 -
3.1.2.1 Aufbau des Messroboters 48 -
3.1.2.2 Sensoren 49 -
3.1.3 Sonnenhöchststände 52 -
3.2 Aufnahmemethode 53 -
3.2.1 Vegetationsaufnahme 53 -
3.2.2 Strahlungintensitätsaufnahme 54 -
3.2.3 Blattfläche 55 -
4 Ergebnisse 57 -
4.1 Ergebnisse der Vegetationsaufnahme 57 -
4.2 Ergebnisse der Strahlungsintensität 61 -
4.3 Zusammenhang von Vegetation und Strahlungsdurchlässigkeit 66 -
4.4 Diskussion der Ergebnisse 74 -
5 Ausblick 75 -
6 Literaturverzeichnis 76 -
6.1 Internetquellen 78 -
7 Abbildungsverzeichnis 80 -

Anhang 2: Messprotokolle der Weidenruten 88	-
Anhang 3: Weidenrutenfotos vom 30.6.2010 100	-
Anhang 4: Weidenrutenfotos vom 1.7.2010 106	-
Anhang 5: Weidenrutenfotos vom 2.7.2010 112	-
Anhang 6: Referenzruten 118	-
Referenzrute A 121	-
Referenzrute B 122	-
Referenzrute C 124	-
Referenzrute D 127	-
Referenzrute E 128	-
Anhang 7 Surfer Mittelwerte 130	-

#### A. Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Strahlungsintensität bzw. der durch Ufervegetation hervorgerufenen Beschattung und deren Auswirkungen auf Fließgewässer. Eine Recherche über Fließgewässer in Österreich, Strahlung, Beschattung, Auswirkungen im Fließgewässer bezogen auf Temperatur, Sauerstoffgehalt, Benthos und Algen und mögliche Methoden der Strahlungsmessung bilden den ersten Teil der Arbeit.

Mittels eines Modellversuchs wird die Strahlungsintensität gemessen, welche durch eine der Natur nachempfundenen Hecke hindurch gelangt. Die Purpurweide (*Salix purpurea*) diente dabei als zu messende Pflanzenart, da sie oft in ingenieurbiologischen Bauwerken zum Einsatz kommt. Beim Modellversuch wird versucht, standardisierte Bedingungen zu schaffen, die jenen der Natur nachempfunden sind. Bei den Messungen werden zwei Stecksysteme bemessen: die *gleichmäßige* Steckweise und die *flächige* Steckweise. Es soll untersucht werden, in wie weit sich die Strahlungsintensität zwischen den beiden Stecksysteme unterscheidet.

Insgesamt werden drei Messungen an Schönwettertagen durchgeführt. Neben der Strahlungsintensitätsaufnahme wird eine Vegetationsaufnahme durchgeführt und untersucht, in wie weit ein Zusammenhang der Ergebnisse der durchgehenden Strahlung und der der Blattfläche besteht.

#### **B.** Abstract

This master thesis concerned with the radiation intensity and the resulted shadow of vegetation and their effects on flowing waters. A research about flowing water in Austria, radiation, shadowing, effects on flowing water in terms on temperature, oxygen household, Benthos and algae and possible methods of measuring radiation forms the first part of the thesis.

The radiation intensity, which goes through a natural hedge, will be measured by the bias of a model test. Purple willow (Salix purpurea), often used in soil bioengineering structures, is used for the measuring model. There are two different types of the plug- in system of the withes: the *uniform* plug- in system and the *areal* plug- in system. Between these two types differences in the radiation intensity should be measured and should be comparatively measured.

At all, three measurements occur on three fine weather days. Additional to the recordings of the radiation intensity, the vegetation is also recorded and proved if there are connections from the leaf area and the radiation.

#### 1 Einleitung

Das Themengebiet Beschattungspotential von Ufervegetation ist ein Forschungsprojekt des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur in Wien (BOKU). Beschattung - hervorgerufen durch ufernahe Vegetation - ist ein in Mitteleuropa ursprüngliches Begleitelement von Fließgewässern. Durch intensive Nutzung und Regulierung der Gewässer wurde dieser Faktor stark zurückgedrängt, was indirekt Auswirkung auf die Wasserqualität hatte. Um diese Zusammenhänge besser verstehen zu können, werden diese Faktoren auf den nachfolgenden Seiten beschrieben. Mittels eines Modellversuchs werden Messungen an der oft für ingenieurbiologische Bauweisen verwendeten Purpurweide (*Salix purpurea*) durchgeführt. Die Forschungsfrage, die in diesem Zusammenhang formuliert und in dieser Arbeit untersucht wurde, lautet:

Bei welcher Dichte (Biomasse) der Ufervegetation gelangt wie viel Prozent der Sonnenstrahlung an die Wasseroberfläche und was bewirkt diese im Fließgewässer?

In den nachfolgenden Kapiteln soll ein Einblick über wichtige und grundlegende Kenntnisse der Solarstrahlung, Beschattung und deren Auswirkungen auf Fließgewässer vermittelt werden. Diese Recherche dient als theoretische Grundlage für den Modellversuch (Kapitel 3).

Zu Beginn folgt ein kurzer Einblick in die Entstehung von Fließgewässern. Anschließend werden die rechtlichen Grundlagen für Fließgewässer in Österreich und die Situation der Wasserqualität in den letzten Jahrzenten aufgezeigt.

Das Kapitel Beschattung wird in zwei größere Unterkapitel, der Strahlung und der Beschattung an Fließgewässern, unterteilt. Im Abschnitt Strahlung wird die Strahlungszusammensetzung sowie die für die Photosynthese wirksame Strahlungsmenge näher beschrieben. Des Weiteren folgen Methoden, die für die Messung der Strahlung angewendet werden können. Hier wird die Messung der PAR- und der Globalstrahlung genauer betrachtet, welche auch im Modellversuch Anwendung fand. Im Abschnitt Beschattung an Fließgewässern werden die Zusammenhänge zwischen Strahlung und Beschattung von Gewässern näher erläutert. Es wird recherchiert, welchen Einfluss die Strahlung bzw. die Beschattung auf Größen wie Temperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert nach sich zieht, und welche Auswirkungen diese veränderten Milieufaktoren auf aquatische Organismen haben. Der Modellversuch wird in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt wird der Aufbau und die Funktionsweise des Versuchs näher beschrieben und im zweiten Abschnitt folgt die Aufnahmemethode.

Im letzten Kapitel werden die Ergebnisse der Vegetationsaufnahme und der Strahlungsmessung separat behandelt und anschließend zusammenfassend betrachtet.

Das letzte Kapitel der Arbeit gibt einen kleinen Ausblick, in welche Richtung weiterführende Untersuchungen gehen werden.

#### 1.1 Entstehung der Fließgewässer

Fließgewässer entstehen durch oberirdisch abfließendes Wasser. Hervorgerufen wird dies durch aufsteigendes Grundwasser oder, wie es bei vielen Hochgebirgsbächen der Fall ist, durch die Schneeschmelze. In tieferen Lagen wird der Abfluss oft durch Wasserüberschuss von Seen oder Sümpfen hervorgerufen. Es gibt auch Fließgewässer, welche nur durch den oberflächlichen Wasserabfluss von Regenfällen gebildet werden. Diese unterschiedlichen Entstehungsweisen haben Einfluss auf das Ökosystem der Fließgewässer. Durch die Ablösung des überfließenden Gesteins (z.B. Kalkstein) oder lockeren Bodens bilden sich im Laufe der Zeit Furchen und Rinnen, in denen sich das Wasser entlang des Längsverlaufs bewegt. Im weiteren Verlauf wird das Flussbett immer größer und breiter und endet meist in einem See oder im Meer.

Es werden im Wesentlichen drei Flusstypen im Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge und dem Wasserverlust unterschieden:

Perennierende Flüsse: Niederschlag ist größer als der Wasserverlust → Dauerflüsse

- Fiumare Flüsse: Niederschlagsmenge ist nur in wenigen Monaten höher als der Wasserverlust → periodische Flüsse
- Wadis Flüsse: Flüsse führen nur zur Regenperiode Wasser und sind hauptsächlich regengespeist → episodische Flüsse

#### **1.2** Fließgewässer in Österreich

Von großer Bedeutung für das Management der österreichischen Fließgewässer ist die EU-Wasserrahmen-Richtlinie und die Österreichische Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL). Mit dieser wurde ein neuer ordnungsschaffender Rahmen für die EU-Wasserwirtschaft, im weiteren Sinne für die österreichische Wasserwirtschaft, geschaffen. Ziel ist es, zumindest einen "guten Zustand" der Gewässer zu erreichen, in weiterer Folge die Vermeidung einer Verschlechterung sowie der Schutz der Gewässer. Das sind Kriterien, die sich für Seen und Flüsse am ursprünglichen Naturzustand orientieren, von dem nur geringe Abweichungen gestattet sind (vgl UMWELTBUNDESAMT 3, 2010).

Zwischen den Jahren 1966 und 1971 waren noch hinsichtlich der Belastung mit organisch abbaubaren Stoffen 17 % der Gewässer nach der vierstufigen Güteklassenskala mit III oder schlechter einzustufen. Dieser Anteil veränderte sich bis 1995 auf unter 5 %. Durch eine Erhöhung des Anschlussgrades an Kläranlagen stieg die Anzahl jener Gewässer der Güteklasse II und besser auf 81,5 % (vgl. UMWELTBUNDESAMT 3, 2010).

Zwischen den Jahren 1998 und 2001 verbesserte sich der Wert der Güteklasse nochmals von 81,5 % auf 87 % (vgl. UMWELTBUNDESAMT 3, 2010).

Der Anteil der heimischen Fließgewässer im Jahre 2005 mit Güteklasse I bis II ist im Vergleich zu 2001 wiederum um 1 % auf 88 % gestiegen (vgl. PRÖLL 2005)

Saprobiotische	Relative Anteile am Gewässernetz in %										
Güteklasse	1966/71	1988	1995	1998	2001	2002/03	2005				
I	15	9	6	7	6	4	4				
1-11	18	18	22	23	28	28	35				
II	31	39	44	51	53	55	49				
-	19	21	24	17	12	12	11				
III	6	10	4	2	1	1	1				
III-IV	6	2	< 1	< 1	0	0	0				
IV	5	1	0	0	0	0	0				

In Tabelle 1 sind die Anteile am Gewässernetz in Österreich in Prozent in den jeweiligen Güteklassen dargestellt.

 

 Tabelle 1 Güteklassenverteilung der Gewässer in den einzelnen Jahren (Quelle: modifiziert übernommen aus WA 1A, 2009)

Ursache für die Verbesserung der Wasserqualität sind die umfassende und flächendeckende Abwassererfassung und Abwasserreinigung in Österreich und der damit verbundene Rückgang des Eintrags von abbaubaren, organischen Stoffen in die Gewässer (vgl. UMWELTBUNDESAMT 1, 2010).

Weitaus weniger positiv als die Wasserqualität kann die Gewässerstruktur bewertet werden. Untersuchungen an 56 großen Flüssen (exklusive der Donau), was insgesamt einer Fließstreckenlänge von 5.000 km entspricht, belegten, dass nur etwa 6 % dem natürlichen Flusstyp entsprechen. Weitere 16 % wurden zwar umgebaut, behielten ihren typischen Flusscharakter jedoch bei. 8 % der Fließstrecken waren zwar nicht morphologisch aber hydrologisch stark beeinträchtigt. Die restlichen Prozent sind in ihren typischen hydrologischen und morphologischen Charakteristika gänzlich verändert worden (vgl. UMWELTBUNDESAMT 3, 2010).

# "Für den Bereich Oberflächengewässer sind folgende Grundsätze der WRRL anzuführen:

#### Ökologische Ausrichtung

Im Gegensatz zu bisherigen Richtlinien ist die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) nicht nutzungsorientiert, sondern ökologisch ausgerichtet: Im Mittelpunkt steht das Anliegen, den Lebensraum für gewässertypspezifische Lebensgemeinschaften wiederherzustellen bzw. zu erhalten.

#### Flächendeckender Ansatz

Die Richtlinie beschränkt sich nicht nur auf die größeren Gewässer, sondern gilt flächendeckend für alle Gewässer in der EU.

#### Einzugsgebietsbezogener Ansatz

Gewässer werden im Kontext mit den entsprechenden Einzugsgebieten gesehen, was insbesondere für die Harmonisierung der Arbeiten zur Erstellung gewässertypspezifischer Leitbildzönosen und für die Erarbeitung von Managementplänen von Relevanz ist. Österreich hat Anteil an drei Haupteinzugsgebieten (Donau, Rhein, Elbe), die in Teileinzugsgebiete unterteilt werden können.

#### Gewässertypbezogener Ansatz

Fließgewässer, stehende Gewässer, Übergangsgewässer und Küstengewässer sind entsprechend der im Anhang II der WRRL angeführten Kriterien zu charakterisieren und Gewässertypen zuzuordnen. Bei Fließgewässern beispielsweise ist die Verwendung der folgenden Kriterien verpflichtend: Ökoregion, Höhenlage, Einzugsgebietsgröße, Geologie. Daneben können auch noch andere Kriterien, wie z.B. Abflussregime und Flussordnungszahl, einbezogen werden.

#### Bioindikation

Der Schwerpunkt bei der Bewertung des ökologischen Zustands der Gewässer liegt auf der Untersuchung der aquatischen Lebensgemeinschaften; bei Flüssen sind beispielsweise Phytobenthos, Makrophyten, Phytoplankton, Makrozoobenthos und Fische zu untersuchen. Die Bewertung erfolgt auf Grundlage des Vergleiches des Status quo mit einem gewässertypspezifischen Referenzzustand, der dem weitgehend natürlichen Gewässerzustand mit höchstens geringfügigen Beeinträchtigungen entspricht.

#### Bewertung des ökologischen Zustandes

Der ökologische Zustand wird anhand eines fünfstufigen Klassifizierungsschemas bewertet. Klasse I (sehr guter ökologischer Zustand) stellt den gewässertypspezifischen Referenzzustand dar, Klasse II (guter ökologischer Zustand) die zumindest zu erreichende Qualitätsvorgabe.

Der Prozess der Bewertung hat folgende Schritte zu umfassen:

- Typisierung der Gewässer gemäß Anhang II der WRRL,
- Definition gewässertypspezifischer Referenzzustände (hinsichtlich biologischer, hydrologischer, morphologischer und chemisch/physikalischer Komponenten),
- Erhebung des Ist-Zustandes der biologischen Komponenten,
- Vergleich dieses Zustandes mit dem Referenzzustand,
- Feststellung allfälliger Abweichungen und Bewertung des ökologischen Zustandes gemäß dem Anhang V der WRRL. "(UMWELTBUNDESAMT 2, 2010)

#### 2 Beschattung

#### 2.1 Strahlung

#### 2.1.1 Definition von Solarstrahlung

Die Strahlung gab den Physikern lange Zeit viele und schwere Rätsel auf. Im Speziellen wird in diesem Kapitel die Sonnenstrahlung behandelt. Ohne diese Energie wäre unser Planet ein kalter lebloser Materienklumpen.

"Die Strahlung ist ein physikalischer Vorgang, bei dem Energie ohne materiellen Träger transportiert wird. Damit besitzt die Strahlung die Möglichkeit, Energie durch den "luftleeren" Weltraum von der Sonne auf die Erde zu übertragen"(HÄCKEL 2005, S.161).

Die solare Strahlung ist die primäre Energiequelle der Erde und daher für die klimatologischen Erscheinungen und Prozesse verantwortlich. Der Hauptteil der von der Sonne kommenden Strahlung stammt aus der 350 km dicken Fotosphäre. In Zahlen ausgedrückt, entspricht die Sonnenstrahlung einem schwarzen Körper mit einer Temperatur von 5800 K. Die Solarkonstante (extraterrestrische Strahlung) hat einen Wert von 1370 W/m<sup>2</sup> und variiert im mehrjährigen Mittel um weniger als 1 ‰. Jede Sekunde erhält die Erde rund 5x10<sup>10</sup> kWh Energie von der Sonne. Pro Tag sind das 4,3x10<sup>15</sup> kWh (vgl. HÄCKEL 2005).

Zum Vergleich setzt HÄCKEL (2005) die Energie, die täglich von der Sonne an die Erde gestrahlt wird, gleich 1 und vergleicht sie zur Veranschaulichung mit unterschiedlichen irdischen Prozessen in Tabelle 2.

Verschiedene Prozesse	Energieumsatz
Täglich von der Sonne zugestrahlte Energie	1=10 <sup>0</sup>
Weltenergieverbrauch	10 <sup>-1,5</sup>
Schweres Erdbeben	10 <sup>-2</sup>
Mittleres Tiefdruckgebiet	10-3
Wasserstoffbombe (April 1954)	10-5
Schweres Sommergewitter	10-7
Nagasaki-Bombe (1945)	10 <sup>-8</sup>
Verbrennung von 100t Kohle	10-10
Jährlicher Verbrauch eines Einfamilienhauses	10 <sup>-12</sup>

Tabelle 2 Vergleich verschiedener Energieumsätze (Quelle: HÄCKEL 2005)

#### 2.1.2 Spektrale Eigenschaften der Sonnenstrahlung

Im umgangssprachlichen Bereich wird Licht bzw. Strahlung nur als jenes Medium bezeichnet, welches sichtbar ist. Dieser Bereich wird zwischen den Wellenlängen elektromagnetischer Strahlung von 380 nm bis 750 nm definiert. Insgesamt wird in der Physik ein Wellenlängenbereich von 280 nm bis 3000 nm für Licht verwendet und in drei große Bereiche mit unterschiedlicher Wirkung unterteilt, wie man in Abbildung 1 sehen kann.

- 280 nm bis 380 nm: Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung); kurzwellige Strahlung, schädliche Wirkung auf Organismen
- 380 nm bis 750 nm: Sichtbare Strahlung; Strahlung von ca. 380 nm 710 nm ist nutzbar f
  ür die Photosynthese.
- 750 nm bis 3000 nm: Infrarote Strahlung (IR-Strahlung); Wärmestrahlung

100nm	200nm			400nm			600nm				800nm	1000nm 1200nm 1400nm	1600nm 1800nm	3,0µm	1 mm
	UV: Ultra		VIS: Visible Radiation; Light					t IR: Infrared Radiation				c			
	UV-C 100-280nn	V-B 280-315nn	UV-A 315-400nn	violet	blue	bluegreen	green	yellowgreer	yellow	orange	red	IR-A 800-1400nn	IR-B 400nm - 3,0µn		IR-C 3,0µm - 1mr

Abbildung 1 Spektrum der elektromagnetischen Strahlung und Wellenlängenbereiche (Quelle: GIGAHERTZ OPTIK 2010)

Beim Durchgang der Strahlung durch die Atmosphäre wird diese absorbiert und zerstreut. Die Aufteilung, der auf der Erdoberfläche aufkommenden Strahlung, wird in Tabelle 3 veranschaulicht. Dabei ist zu erkennen, dass das sichtbare Licht prozentmäßig mit relativ hohem Anteil auf die Erdoberfläche auftrifft, jedoch nur einen geringen Wellenlängenbereich abdeckt. In Abbildung 2 wird die spektrale Verteilung der Strahlung und deren Änderung beim Durchgang durch die Atmosphäre (für den Höchststand der Sonne) aufgezeigt. Die für die Photosynthese nutzbare Strahlung (photosynthetic active radiation) liegt in einem Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 710 nm. Auf diesen Bereich der Spektralverteilung entfallen etwa 47 % der Strahlung, die an die Erdoberfläche gelangt (siehe Kapitel 2.1.4).

	Anteil	Wellenlängenbereich
Ultraviolettes Licht	1,4 %	290 bis 380 nm
Sichtbares Licht	52,6 %	380 bis 750 nm
Infrarotes Licht	46 %	750 bis 3000 nm

 

 Tabelle 3 Der an der Erdoberfläche ankommende Strahlunganteil (Quelle: modifiziert übernommen aus RICKERT 2009)



Abbildung 2 Spektrale Verteilung der Strahlung beim Durchgang durch die Atmosphäre (Quelle: modifiziert übernommen aus HÄCKEL 2005)

Der Energieeintrag durch die Strahlung an einem Standort ist vom Sonnenstand, von der Sonnenscheindauer und dem Bewölkungsgrad abhängig. Zwischen dem Energieinhalt und den Wellenlängen besteht jener Zusammenhang, dass je kürzer die Wellenlängen sind, desto mehr Energie wird damit transportiert. Mit jeder Verkürzung der Wellenlänge um ein Zehntel steigt der Energieinhalt um das 10 fache an (vgl. HÄCKEL 2005).

#### 2.1.3 Strahlungsarten

Beinahe die gesamte Energie, welche der Erde zur Verfügung steht, kommt von der Sonne in Form von Strahlung. Diese Strahlung setzt sich zusammen aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung und wird mit dem Überbegriff Globalstrahlung gekennzeichnet. Die Globalstrahlung ist sehr stark von den atmosphärischen Bedingungen und dem Bedeckungsgrad des Himmels abhängig. In Abbildung 3 wird die Messung der unterschiedlichen Strahlungsarten aufgezeigt.



Abbildung 3 Messung der Sonnenstrahlung (links), Himmelsstrahlung (Mitte) und Globalstrahlung (rechts) (Quelle: modifiziert übernommen aus SAUBERER 1962)

Die direkte Sonneneinstrahlung ist auch unter dem Namen Solarstrahlung bekannt. Die direkte Sonnenstrahlung ermöglicht uns, die Sonne zu sehen, diese ist zudem für den Schattenwurf verantwortlich. Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird diese Strahlung gestreut, absorbiert und reflektiert. Dies geschieht durch Partikel wie Luftmoleküle, Wassertröpfchen, Eiskristalle Aerosole. Durch ihre unterschiedlichen und Größenordnungen haben sie unterschiedliche Streuungseigenschaften, welche wellenlängenabhängig sind. Während Wassertröpfchen, Dunstteilchen und Aerosole (Rayleigh-Streuung) praktisch alle Wellenlängen gleich streuen, lenken Luftmoleküle die kurzwelligen Strahlen stärker ab als die langwelligen (Mie-Streuung). Von der gestreuten Strahlung erreichen nur rund 55 % die Erdoberfläche. Diese Strahlung wird als diffuse Himmelsstrahlung bezeichnet. Die Sonnenstrahlung mit einer Wellenlänge unterhalb von 290 nm (UV-Strahlung) wird in erster Linie durch die Ozonschicht bereits in einer Höhe von 15 km bis 30 km absorbiert (vgl. HÄCKEL 2005).

#### 2.1.4 Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)

Die photosynthetisch aktive Strahlung ist jener Anteil der Globalstrahlung, den Pflanzen für die Photosynthese ausnützen können (vgl. HÄCKEL 2005). Die für die Photosynthese der grünen Pflanze nötige Strahlung entspricht in etwa dem sichtbaren Bereich des Sonnenspektrums. Dieser Bereich wurde von 380 nm bis 710 nm festgelegt (vgl. LARCHER 1994).

In Abbildung 4 ist ersichtlich, welche Wellenlängenbereiche für die Photosynthese relevant sind. Die Bereiche um 450 nm (blau) und um 670 nm (orange, rot) beteiligen sich sehr stark an der Photosynthese. Wellenlängen um 550 nm (gelb, grün) wirken nur im

geringen Maße mit. Im Gegensatz dazu hat das menschliche Auge gerade in diesem Bereich (von 550 nm) seine größte Empfindlichkeit (vgl. REITMAYER 2000).



Abbildung 4 Spektrale Wirkungsfunktion der Photosynthese (Quelle: modifiziert übernommen aus HÄCKEL 2005)

Wird nun die Spektralverteilung mit der vom Laub durchgelassenen Strahlung mit der PAR- Kurve verglichen (Abbildung 5), so erkennt man, dass unter einem Blätterdach nur noch photosynthetisch wertlose Strahlung vorhanden ist. Das ist unter anderem die Ursache dafür, dass unter einem dichten Blätterdach oft nur spärlicher Unterbewuchs existiert.



Abbildung 5 Abhängigkeit bei grünem Laub von Absorption, Reflexion und Transmission (Quelle: modifiziert übernommen aus HÄCKEL 2005)

#### 2.1.5 Strahlungszusammensetzung beim Durchgang durch die Pflanze

Eine geschlossene Pflanzendecke bildet durch ihr stufenweise übereinander gelagertes und somit sich selbst beschattendes Blätterdach ein Assimilationssystem. Eine dichte Pflanzendecke nutzt durch die stufenweise Absorption fast die gesamte Strahlungsmenge aus. Nur ein geringer Teil gelangt bis auf den Boden.

Die Strahlungsabschwächung, die sogenannte Strahlungsattenuation, hängt von der Belaubungsdichte, von der Verteilung der Blätter im Bestand und von der Blattneigung ab. Die Belaubungsdichte lässt sich durch den LAI (Leaf Area Index) berechnen. Beim Durchgang durch die hintereinanderliegenden Blattschichten nimmt die Strahlungsintensität nach dem *Lambert-Beer'schen Gesetz*, ähnlich dem Wasser, exponentiell ab (vgl. LARCHER 1994).

Das Strahlungsangebot über und in einem Laubwald in England, in Abhängigkeit vom Belaubungszustand, wird in Abbildung 6 dargestellt. Der Versuch zeigt den jahreszeitlichen Verlauf der Strahlungsdurchlässigkeit in Abhängigkeit vom Belaubungszustand sommergrüner Laubwälder und deren Auswirkungen auf den Unterbewuchs, welcher sich mit seinem Entwicklungsverhalten darauf einstellt.



Punktierter Bereich: direkte Sonnenstrahlung, oberste Linie: Monatssummen der Globalstrahlung, untere Begrenzung des punktierten Bereichs: diffuse Strahlung, Kreislinie: Strahlung in einer Lichtung, strichlierte Linie: Strahlung unter dem Kronendach; Balken: Laubentfaltung (schraffiert), volle Belaubung (schwarz), Laubfall (punktiert).

Abbildung 6 Strahlungsangebot über und in einem Laubwald in England in Abhängigkeit vom Belaubungszustand (Quelle: modifiziert übernommen aus LARCHER 1994)

Das Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsverhalten einer grünen Pflanze wird in den verschiedenen Wellenlängenbereichen von unterschiedlichen Faktoren bestimmt.

Die **Absorption** ist dabei im unteren Wellenlängenbereich (unter 700 nm) vom Absorptionsverhalten des Chlorophylls, der Carotinoide und verschiedener Chloroplastenpigmenten abhängig, wie man in Abbildung 7 sehen kann. Bei den Wellenlängen über 1400 nm spielen die Rotations- und Vibrationsanregungen von Wassermolekülen eine entscheidende Rolle (vgl. REITMAYER 2000).

Je nach Blattaufbau und Ausstattung mit Chloroplasten absorbieren Blätter 60 % - 80 % der photosynthetisch aktiven Strahlung (vgl. LARCHER 1994).



Abbildung 7 Absorptionsspektren von Chloroplastenpigmenten in Lösung (Quelle: REITMAYER 2000)

Das **Reflexionsverhalten** eines Blattes hängt in erster Linie von der Rauigkeit der Blattoberfläche ab. Ein Haarfilz oder eine Wachsschicht erhöhen die Reflexion erheblich. Im sichtbaren Bereich werden durchschnittlich nur 6 % - 10 % der Strahlung remittiert. Abhängig von der Blattoberfläche des Bestandes kann sich dieser Wert um einige Prozent verändern. Grünes Licht wird am stärksten reflektiert (10 % - 20 %), oranges und rotes Licht am wenigsten (3 % - 10 %) (vgl. LARCHER 1994).

Die **Transmission** (Strahlungsdurchlässigkeit) der Blätter hängt von der Dicke und dem Aufbau des Blattes ab. Zum Beispiel lassen weichlaubige Blätter 19 % - 20 % der Sonnenstrahlung hindurch, wobei sehr dünne Blätter einen Wert bis zu 40 % erreichen können. Dicke Blätter sind für Strahlung fast undurchlässig und erreichen einen Wert bis ca. 3 %. Die besten Werte der Transmission hängen, wie bei der Reflexion, mit den Wellenlängen zusammen. Diese liegen in den Bereichen von Grün (500 nm) und im nahen Infrarotbereich (800 nm). Aus diesem Grunde erscheinen Blätter auch in der Durchsicht grün und das Lichtempfinden im Wald erhält seinen typisch rot- grünlichen Stich (vgl. LARCHER 1994).

Der tatsächliche Ausnutzungsgrad, der zur Verfügung stehenden PAR-Strahlung, ist bei Pflanzen in jedem Fall sehr gering. Nur etwa 2 % - 3 % werden davon in Kohlenhydrate gebunden. Messungen von landwirtschaftlichen Intensivkulturen, wie z.B. bei Mais in subtropischen Gebieten, ergaben bei optimalen Bedingungen Werte von bis zu 9 % (vgl. LARCHER 2001).

#### 2.1.6 Methoden der Strahlungsmessung

Bei der Strahlungsmessung finden heutzutage vor allem elektrische Messgeräte Anwendung, im Gegensatz zu Sonnenscheinmessgeräten, welche nur über die Dauer des Sonnenscheins Angaben machen. Als Strahlungsmessgeräte gelten der *CAMPELL-STOKES* Sonnenscheinautograph oder der Sonnenkompass zu erwähnen.

Der **Sonnenkompass** zeigt an einer willkürlich gewählten Stelle an, wann im Jahr, zu welcher Uhrzeit Sonneneinstrahlung zu erwarten ist. Das Messgerät wird am zu messenden Ort aufgestellt. In der gläsernen Kuppel spiegelt sich die Sonneneinstrahlung auf die darunterliegende Skala. Anhand dieser Skala lassen sich dann die Stunden an Sonneneinstrahlung berechnen.

Über die Strahlungsintensität und Strahlungszusammensetzung geben sogenannte Pyranometer Auskunft. Diese Messgeräte messen die kurzwellige Strahlung von 0,3 µm - 1,1 µm. Die Glashaube, welche das Messplättchen vor Witterungseinflüssen schützt, ist für langwellige Strahlung unpassierbar. Die Temperaturschwankung unter der Glashaube, durch die Strahlung ausgelöst, gibt ein Maß für die Intensität der Globalstrahlung ab. Die Temperaturschwankungen werden entweder durch Thermoelemente oder Siliziumzellen (Photovoltaik) gemessen, die in elektrische Spannung umgewandelt werden. Für die Messung der Himmelsstrahlung lässt sich eine Konstruktion anbringen, welche die direkte Sonnenstrahlung vom Messelement abschirmt (vgl. HÄCKEL 2005).

In Abbildung 8 wird der konstruktive Aufbau eines einfachen Messapparates nach *MOLL- GORCYNSKI* aufgezeigt.



P = Messelement, G = doppelwandige Glashaube, R Schattenring, S = Schatten auf dem Messgerät, Sch = Schutzscheibe zum Abhalten der Sonnenstrahlung vom Messelement, H = Einrichtung zur Höhenverstellung, SK = Skala für die Höhenverstellung

Abbildung 8 Solarimeter nach *MOLL-GORCYNSKI* mit Aufsatz zur Messung der Himmelsstrahlung (Quelle: HÄCKEL 2005)

Weiters gibt es noch das **Sternpyranometer**, welches von Dirmhirn entwickelt wurde. Es zählt innerhalb der meteorologischen Strahlungsmessgeräte zu den Schwarz-Weiß-Flächen-Pyranometern und dient zur Messung der Himmelsstrahlung, der Globalstrahlung, der kurzwelligen Reflexstrahlung und der Ermittlung kurzwelliger Strahlung auf unterschiedlich geneigten Oberflächen. Sternpyranometer decken den Wellenlängenbereich von  $0,3 \mu m - 3 \mu m$  ab (vgl. FISCHER 2005).

Wenn man nun kurz- und langwellige Strahlung messen möchte, so muss man die Schutzhaube des Messelementes aus einem für beide Wellenlängen durchlässigen Material herstellen. In diesem Fall gilt der Kunststoff Lupolen als sehr geeignet. Wichtig ist, dass die Messflächen der Strahlungssensoren schwarz sind. Man bezeichnet solche Geräte als **Strahlungsbilanzmesser**. Die langwelligen Strahlungsströme kann man berechnen, in dem man von der gemessenen Gesamtstrahlung den kurzwelligen Bereich subtrahiert. In der Nacht ist die Gesamtstrahlung identisch mit der langwelligen Strahlung (vgl. HÄCKEL 2005).

Durch die schwarze Farbe der Messfläche wird gewährleistet, dass alle ankommenden Wellenlängen gleichermaßen absorbiert werden. Dies ist wichtig, um die freiwerdende Energie richtig zu nutzen und gute Messwerte zu erhalten.

Um die photsynthetisch aktive Strahlung zu messen, wird ein Messfühler eingebaut, dessen spektrale Empfindlichkeit der photosynthetischen Wirkfunktion von Pflanzen entspricht. Mit diesen Sensoren lässt sich angeben, wie viel Strahlungsenergie die Pflanzen nutzen können. Sensoren dieser Art werden PAR- Sensoren genannt. Hier gibt es zwei unterschiedliche Ausführungen. Es gibt jene, die den Energieinhalt der auftreffenden Strahlung messen, und jene, die ankommende Strahlungsquanten aus dem photosynthetisch aktiven Wellenlängenbereich der Strahlung zählen. Bei Strahlungsmessungen innerhalb von Pflanzenbeständen fällt es schwer, einen repräsentativen Messwert zu bekommen, da einfach zu viele Unregelmäßigkeiten im Blätterdach vorhanden sind. An einem beliebigen Punkt kann direkte Sonneneinstrahlung bis zum Boden vordringen und einen Zentimeter weiter kann tiefer Schatten vorhanden sein. Man hilft sich hierbei, indem man den Strahlungsmesser durch eine repräsentative Fläche bewegt und den Mittelwert der erhaltenen Daten berechnet (vgl. HÄCKEL 2005).

Andere Strahlungsmessgeräte wie das **Luxmeter** (ähnlich den PAR- Sensoren) sind der Empfindlichkeitskurve der menschlichen Augen angepasst. Mit diesen Sensoren wird jedoch nicht die photosynthisch aktive Strahlung gemessen, da die Empfindlichkeit dieser Sensoren im Gelbgrünbereich unterschiedlich ausgeprägt ist (vgl. HÄCKEL 2005).

#### 2.2 Beschattung an Fließgewässern

In den nachfolgenden Kapiteln wird der Einfluss der Beschattung und des Lichtes auf physikalische Größen und auf die vorkommenden Lebensgemeinschaften in einem Fließgewässer aufgezeigt werden. Dabei werden zunächst die Änderungen von abiotischen Faktoren wie Temperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert aufgezeigt und diese anschließend mit den Bedürfnissen der aquatischen Organismen des Fließgewässers in Verbindung gebracht.

#### 2.2.1 Beschattung durch Ufervegetation

Die Beschattung erfolgt in erster Linie durch Ufervegetation, sprich Gehölzen und Stauden. Gehölze nehmen dabei durch ihre Größe einen viel wichtigeren Stellenwert ein als kleinbleibende Stauden.

Je nach Höhe und Länge des Gehölzstreifens am Fließgewässer, sowie der Lage und der Tages- und Jahreszeit, wirft die Ufervegetation unterschiedliche Beschattungsflächen. Das Ziel sollte sein, eine lang andauernde und großflächige Beschattung des Gewässers zu erreichen. Dies entspricht einerseits weitgehend den potentiell natürlichen Bewuchsverhältnissen von Fließgewässern und zum anderen wird der makrophytische Aufwuchs minimiert, welcher bei ausreichendem Licht zu schädlichen Folgewirkungen (z.B. Sauerstoffschwankungen) führen kann (vgl. RICKERT 2009).

Größere Fließgewässer werden in den Niederungen in ihrem natürlichen Zustand neben Auwäldern zusätzlich von Bruchwäldern begleitet. Durch den erhöhten Lichteinfall, abhängig von der Gewässerbreite, entwickelte sich im Gewässerbett eine vielseitige aquatische Vegetation. Kleine Fließgewässer, welche über einen durchgehenden geschlossenen Gehölzsaum verfügen, weisen hingegen ein vegetationsarmes Gewässerbett auf (vgl. DVWK 224/1992).

Nicht nur die Größe, auch die Struktur, die Dichte, die Blattstellung, die Blattgröße, die Blattdicke und die Himmelsrichtung des Standortes zum Fluss sind wichtige Eigenschaften eines Gehölzes bzw. einer Staude, um einen qualitativ hochwertigen Schatten zu liefern. Die Beschattung durch die Gehölzstrukturen hat im Gewässer und in der Umgebung viele Funktionen und Wirkungen. In Abbildung 9 kann man die Auswirkungen des Gehölzbewuchses an Fließgewässern näher betrachten.



Abbildung 9 Funktion und Wirkung des Gehölzbewuchses am Fließgewässer (Quelle: RICKERT 2009)

In Abbildung 10 wird veranschaulicht und berechnet, wie lange der Schatten von einem 10 m hohen Baum ist und in welche Richtung er geworfen wird. Diese Untersuchung wurde für den 3. Mai für den Breitengrad 52,5° durchgeführt und ergab um 10:00 Uhr einen Schattenwurf von 9,7 m in nord-westliche Richtung. Um 16:00 Uhr wurde ein Schattenwurf von 17,2 m in nord-östliche Richtung gemessen.

Laut den Merkblättern DVWK (1997) erreicht der Schattenwurf einer Ufervegetation maximal das 0,8 fache der eigenen Wuchshöhe.



Abbildung 10 Schattenwurf eines 10 m hohen Baumes zu zwei verschiedenen Tageszeiten (Quelle: RICKERT 2009)

#### 2.2.2 Wärmehaushalt der Fließgewässer

Der Wärmehaushalt der Fließgewässer ist von vielen Faktoren, welche die Eigenschaften des Wassers direkt betreffen, abhängig. Hier sind die Geometrie des Gewässers (Tiefe, Breite), die Dichte des Wassers und die spezifische Wärmekapazität zu nennen. In weiterer Folge sind jene Faktoren aufzuzeigen, welche den Wärmeaustausch mit der Umgebung beeinflussen: die Sonnenstrahlung, die Himmelstrahlung, die effektive Ausstrahlung, die Verdunstungs- und die Kondensationswärme. Die Temperaturschwankungen eines Tages sind in den Sommermonaten in der fließenden Welle umso größer, je kleiner die Quellentemperatur im Vergleich zur Lufttemperatur ist und je geringer die Tiefe und das Abflussvolumen sind (vgl. SCHWOERBEL 1999).

Die Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 kg Wasser um 1 °C bei 15 °C zu erwärmen, beträgt 4,186 kJ. Dieser Wert der spezifischen Wärme ist außerordentlich hoch und wird nur von Wasserstoff (14,23 kJ) und Ammoniakgas (5,15 kJ) übertroffen. Diese hohe spezifische Wärme lässt darauf schließen, dass Wasser viel Wärme speichert. Speziell bei

einem Fließgewässer bedeutet das, dass ein großer Betrag der gespeicherten Wärme flussabwärts transportiert wird (vgl. SCHWOERBEL 1999).

#### 2.2.3 Abiotische Faktoren der Beschattung

#### 2.2.3.1 Licht und Strahlung

Das Licht bzw. die Strahlung bildet die wichtigste Wärme- bzw. Energiezufuhr von Gewässern. Die Wärmezufuhr erfolgt einerseits durch direkten Einfluss der Strahlung auf die Wasseroberfläche, andererseits indirekt durch den Wärmeaustausch mit der das Gewässer umgebenden erwärmten Luft und dem Boden.

Beim Auftreffen der Strahlung auf einen Körper, zum Beispiel einer Wasseroberfläche, werden nur bestimmte Wellenlängen absorbiert und zum großen Teil in Wärme umgeleitet, während andere Wellenlängen hindurchgelassen oder reflektiert werden (vgl. KLOSE 2008).

Im Durchschnitt werden in Mitteleuropa im Sommer ca. 3 % und im Winter ca. 14 % der direkten Sonneneinstrahlung, die auf die Wasseroberfläche auftrifft, reflektiert, von diffuser Himmelsstrahlung durchschnittlich ca. 6 %. Bei starkem Wellengang oder Turbulenzen mit Schaumbildung kann sich dieser Wert auf 30 % - 40 % erhöhen (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Nach SAUBERER (1962) hängt die Reflexion des Lichtes in Prozent vom Sonnenstand bzw. der Tageszeit, sowie der Jahreszeit, ab. In der folgenden Auflistung kann man die Reflexionswerte der Sonnen- und der Himmelsstrahlung bei unterschiedlichen Winkelgrößen der Sonne ablesen:

Sonnenhöhe°	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Sonnenstrahlung	80	58	35	21	13	5,9	3,4	2,3	2,1	2,1	2,1	2,1
Himmelsstrahlung	-	17	15	14	13	11	9,3	8	7,4	7,1	-	-

 Tabelle 4 Reflexion des Lichtes in Abhängigkeit des Sonnenwinkels (Quelle: SAUBERER 1962, S.46)

Beim Durchgang der Strahlung durch die unterschiedlichen Wasserschichten dringt das Licht nicht bis in tiefste Ebenen vor, sondern wird allmählich absorbiert und abgeschwächt.

Die Abnahme der Lichtintensität ist nicht linear, sondern in jeder Gewässertiefe wird ein bestimmter Teil des noch vorhandenen Lichtspektrums absorbiert, was eine exponentielle Abnahme der Strahlung mit der Tiefe zur Folge hat. Diese Abnahme kann auch mathematisch durch die *Lambert-Beer'sche* Formel berechnet werden (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Lambert-Beer'sche Formel:

$$E_d(z) = E_d(0) * \mathrm{e}^{-kd*z}$$

$$k_d = [\ln E_d(0) - \ln E_d(z)] / z$$

 $E_d(0), E_d(z)$  ..... Strahlungsintensität an der Oberfläche und in der Tiefe z

k<sub>d</sub> ..... vertikaler Attenuationskoeffizient

Für die unterschiedlichen Wellenlängen, welche ins Wasser eindringen, gelten unterschiedliche Attenuationskoeffizienten. Der zurückgehaltene Betrag der Strahlung wird durch diesen Wert bestimmt. Je höher dieser Koeffizient ist, desto schneller und besser wird das Licht absorbiert. Aus diesem Grund werden die verschiedenen Wellenlängen in den verschiedenen Tiefen unterschiedlich absorbiert, womit sich auch die Farbe des Lichtes in den Tiefen ändert (vgl. SCHWOERBEL 1999).

In reinem Wasser wird Rot am schnellsten absorbiert, Blau am langsamsten. Somit besitzt Blau die höchste Transmissionsleistung. In 1m reinem Wasser wird von rotem Licht (720 nm) 65% absorbiert, wobei von blauem Licht (475 nm) nur 0,5% absorbiert wird. Die Farbe des Gewässers hängt vom Spektralbereich ab, der von der Wasseroberfläche zurück reflektiert wird, und vom Licht, welches das Wasser wieder verlässt, nachdem es schon ins Wasser eingedrungen ist. Im weiteren Sinne sollte dazu noch erwähnt werden, dass die Streuung auch wellenlängenselektiv ist, wobei kurzwelliges Licht stärker streut als langwelliges Licht. Deshalb sieht ein Taucher in wenigen Metern Tiefe keine Rottöne mehr, da sie bereits in früheren Wasserschichten absorbiert wurden (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Die Transmissionsleistung hängt im weiteren Sinne auch von den im Wasser gelösten Substanzen sowie den suspendierten Partikeln ab. Eine grüne Färbung eines Gewässers kommt vor, wenn ein hoher Chlorophyllgehalt (Algen) im Wasser vorhanden ist. Eine gelblich- bräunliche Färbung entsteht durch die Anwesenheit von Huminstoffen im Gewässer. Trübstoffe verändern nicht die Farbe sondern die Farbsättigung (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Während nun in sehr trübem Wasser nach einem Meter nur noch 1 % der Strahlung vorhanden ist, findet man in klaren Seen sogar noch in 5-10 m Tiefe höhere Strahlungswerte. Im Mittelmeer liegt die 1 % Grenze bei ca. 60 m. Im Ozean kann diese Grenze bis in Tiefen von 150 m abfallen, was für den Wärmehaushalt der ganzen Erde entscheidend ist. Im Ozean können riesige Mengen an Wärme gespeichert werden. Diese sind maßgeblich für das Klima verantwortlich (LARCHER 2001).

Im Verlauf eines Flusses liegen viele Parameter vor, welche die Strahlung beeinflussen. Die wichtigsten Faktoren sind dabei die Gewässerbreite, die Gewässertiefe, die Gewässergeometrie, womöglich vorhandene Böschungen, die Trübung, die Fließgeschwindigkeit und die Ufervegetation.

Ein natürlicher Fluss durchwandert von seinem Ursprung bis zu seiner Mündung verschiedenste Umgebungen, welche mit unterschiedlichen Strahlungseinwirkungen zusammenhängen. Ein kleiner klarer Gebirgsbach, der über der Baumgrenze entspringt, weist wohl die größte Einstrahlung auf, welche bis auf den Gewässergrund reicht. Beim weiteren Durchgang des Flusses durch ein Waldgebiet, so wie es in Mitteleuropa im Normalfall üblich ist, kommt durch die umgebende Ufervegetation und den Kronenschluss nur noch etwa 5% der Strahlung durch das Blätterdach. Hier kann durch den jährlichen Laubfall im Herbst jedoch ein umgekehrtes Strahlungsverhältnis entstehen, wobei die Strahlung im Winter ein Maximum und im Sommer ein Minimum entfalten lässt.

Nach LINNENKAMP und HOFFMANN (1990) wurden an einem Flachlandbach folgende Werte ermittelt.

- Geschlossene Bepflanzung: Reduzierung des Lichteinfalles um > 90%
- Lückige Bepflanzung: Reduzierung des Lichteinfalles um mind. 60%
- Laubfreier Zustand: Reduzierung des Lichteinfalles um ca. 30%

Größere Fließgewässer mit mehr als 10 Metern Breite haben viel Auffangfläche für die Strahlung, da die Ufervegetation nicht die ganze Breite abdecken kann. Diese weisen somit günstige ganzjährige Lichtverhältnisse auf. Durch zunehmende Trübung und Gewässertiefe von Tieflandflüssen ändert sich diese Lichtintensität wieder (vgl. JUNGWIRTH et al. 2003).

#### 2.2.3.2 Temperatur

Wegen der großen Turbulenzen, die von der Strömung ausgehen, und der somit kontinuierlichen Durchmischung der Wasserschichten gibt es keine Temperaturschichtung, wie dies zum Beispiel in einem See charakteristisch ist. Es gibt jedoch entlang der Fließstrecke bestimmte Temperaturänderungen, welche von mehreren Faktoren abhängig sind, wie sie im Kapitel 2.2.2 beschrieben wurden. Quellen sind in ihrer Austrittstemperatur sehr konstant. Im mitteleuropäischen Bereich hängt die Temperatur von der mittleren Jahrestemperatur ab und beträgt ca. 8°. Dieser Wert weicht im Jahresverlauf nur um Zehntel ab. Im weiteren Verlauf der Fließstrecke gleicht sich die Wassertemperatur immer weiter der Umgebungstemperatur an. Im Sommer steigt die Temperatur an, im Winter sinkt diese ab (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

In Abbildung 11 kann man den tageszeitlichen Verlauf der Temperaturänderungen eines Gebirgsbaches von der Quelle an vier Tage lang verfolgen. Zu erkennen sind die tageszeitlichen Temperaturänderungen und die mit zunehmender Fließstrecke steigende Wassertemperatur.





Die Amplitude hängt in weiterer Folge von der transportierten Wassermenge und von der Einwirkung der Strahlung ab. Die Absorption, der in ein Gewässer eindringenden Strahlung, vor allem der langwelligen Strahlung (diese wird am schnellsten absorbiert), wird in Wärme umgewandelt und bewirkt dabei den größten Wärmeeintrag in das Gewässer (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

In Abbildung 12 wird der Verlauf des Absorptionsvermögens von Wasser der unterschiedlichen Wellenlängen veranschaulicht.

Etwa 68 % der Sonnenenergie wird von der Wasserfläche absorbiert. Dies hängt jedoch mit dem Reinheitsgrad des Wassers bis in eine Schichtungstiefe von etwa 30 m zusammen. Die Energie verteilt sich im Wasser auf ein viel größeres Volumen, als wenn die Strahlung auf die Erdoberfläche trifft, wo nur die obersten Erdschichten bestrahlt werden. Daher ist der Wärmeanstieg im Wasser um ein Vielfaches kleiner als am Land, ist aber kleineren Schwankungen unterlegen. Dies hängt von der spezifischen Wärmekapazität ab, welche bei Wasser um ein drei- bis vierfaches größer ist (cv = 4170 Jkg-1K-1), als es bei Gestein der Fall ist. Dies hat eine drei- bis vierfach geringere Temperaturerhöhung gegenüber dem Boden zur Folge (vgl. KLOSE 2008)



Abbildung 12 Absorptionsvermögen von Wasser (Quelle: WEBGEO 2010)

Ein kleines Fließgewässer mit geringem Durchflussvolumen wird während eines Tagesverlaufes schneller erwärmt als ein großes mit hohem Durchflussvolumen. Am Nachmittag erreicht die Temperatur den Zenit und sinkt im Verlauf der Nacht auf ein Minimum ab, welches in der zweiten Nachthälfte erreicht wird. Hierbei können zum Beispiel in einem kleinen Fluss die Temperaturunterschiede bis zu 6 °C ausmachen. Größere Fließgewässer unterlaufen nur geringe tagesperiodische Temperaturschwankungen (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Die Beschattung durch die Ufervegetation hat neben der Gewässerbreite und der Sonneneinstrahlung einen hohen Stellenwert im Temperaturregime des Gewässers. Wie im Kapitel zuvor erwähnt, können durch eine ausgiebige Beschattung 95 % der Strahlung reduziert werden. Dies bewirkt einen beträchtlichen Verlust der tagesperiodischen Strahlungserwärmung und hat somit einen kleineren Schwankungsbereich der Tagesmitteltemperatur des Gewässers zur Folge.

Am Beispiel eines Versuchs einer Beschattungsstrecke wurde durch LINNEKAMP und HOFFMANN (1990) der Tagesgang der Temperatur und der Beleuchtungsstärke nachgewiesen. Die Auswertung ergab den in den Abbildungen 13 und 14 gezeigten Verlauf.



Abbildung 13 Tagesgang der Wassertemperatur im unbeschatteten und beschatteten (schwarz) Bereich am 7.7.87 (Quelle: modifiziert übernommen aus LINNENKAMP und HOFFMANN 1990))



Abbildung 14 Tagesgang der Beleuchtungsstärke im unbeschatteten und im beschatteten (schwarz) Bereich am 7.7.87 (Quelle: modifiziert übernommen aus LINNENKAMP und HOFFMANN 1990))

In Abbildung 13 kann man erkennen, dass im beschatteten Bereich kleinere Temperaturschwankungen erfolgen als im unbeschatteten Bereich. Durch die Abbildung 14 wird ersichtlich, wie sich die Beleuchtungsstärke, in Kilolux gemessen, auf die Temperatur auswirkt. Durchschnittlich verringert sich die Temperatur des Fließgewässers um 1,5 °C bis 2 °C zwischen beschattetem und unbeschattetem Bereich.

Fließgewässer, welche in ihrem Verlauf einen See passieren, sind deutlich wärmer als solche, die keinen See passieren. Die Erwärmung kommt daher, dass der deutlich kühlere Zufluss in die unteren Schichten des Sees eindringt und das wärmere epilimnische Wasser, welches sich während des Aufenthalts im See erwärmt hat, verdrängt, und dann im Abfluss seinen Weg fortsetzt (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

In Abbildung 15 wird der Jahresverlauf der durchschnittlichen Temperatur in unterschiedlich ausgeprägten Flussabschnitten aufgezeigt.


Abbildung 15 Jahresverlauf der Temperatur in unterschiedlichen Flussabschnitten (Quelle: modifiziert übernommen aus BREHM und MEIJERING1982)

### 2.2.3.3 Sauerstoffgehalt

Grundsätzlich wird der Sauerstoffgehalt eines Gewässers durch das temperaturabhängige Lösungsvermögen und die photosynthetischen Aktivitäten im Wasserkörper geprägt (vgl. RICKERT 2009).

Das *Henry'sche* Gesetz gibt an, welchen Lösungskoeffizienten ein Gas bei einem bestimmten Druck und einer bestimmten Temperatur hat. Je höher die Temperatur und je niedriger der Druck, desto höher ist schlussendlich die Fähigkeit eines Gases, sich im Wasser zu lösen.

### Henry'sches Gesetz:

# Cs = Ks \* Pt

- Cs ...... Sättigungskonzentration des Gases
- Ks ..... temperaturabhängiger Löslichkeitskoeffizient
- Pt ..... Partialdruck des Gases

In Tabelle 5 wird die Aufnahmekapazität von Sauerstoff in 100 % sauerstoffgesättigtem Wasser bei 760 Torr (Meereshöhe) in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeigt.

Temperatur in °C	Sättigung in mg O2/l
0° C	14,5 mg/l
10° C	11,1 mg/l
20° C	8,9 mg/l
30° C	7,2 mg/l

**Tabelle 5** : Sauerstoffsättigungswerte auf Meereshöhe bei unterschiedlicher Temperatur (Quelle:JUNGWIRTH et al. 2003)

In einem natürlichen Fließgewässer ist die Sauerstoffsättigung von den Turbulenzen, der Wassertemperatur und von den biogenen Prozessen, wie Photosynthese, Atmung und dem chemischen Abbau beeinflusst. In Fließgewässern erfolgt, durch die von der Strömung verursachten Turbulenzen, ein höherer Sauerstoffaustausch mit der Atmosphäre. Dabei gilt, je turbulenter ein Fließgewässer umso stärker der atmosphärische Austausch und umso ausgeglichener ist die Sauerstoffsättigung im Tagesverlauf (vgl. JUNGWIRTH et al. 2003).

Im Verlauf der Fließstrecke können durch unterschiedliche Einflüsse und Faktoren Änderungen auftreten. So ist die Quelle zum Beispiel sehr sauerstoffarm, da sie direkt aus dem Untergrund entspringt. Dieses Sauerstoffdefizit wird in einem schnellfließenden Bach des Rhithrals jedoch schnell aufgefrischt. Im weiteren Verlauf und im Übergang von Rhithral zu Potamal wird organische Substanz (z.B. Falllaub) eingetragen. Der Abbau dieser Substanzen verbraucht Sauerstoff. Im Tagesverlauf betrachtet, gibt es hohe Sauerstoffkonzentrationen am Tag, hervorgerufen durch die Photosynthesewirkung der Wasserpflanzen und Algen. Niedrige Sauerstoffkonzentrationen sind zu messen, wenn diese Aktivität in der Nacht nachlässt, und der Sauerstoff durch Atmung oder chemische Reaktionen verbraucht wird. Durch eine ausreichende Beschattung kann ein übermäßiges Wachstum von Makrophyten und Algen unterbunden werden (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999). Durch die Schattenwirkung von Gehölzen kann die Aufnahmekapazität von Sauerstoff erhöht werden, da die Wassertemperatur gesenkt wird. Am Beispiel von Abbildung 16 ergaben sich für die Werte von 21 °C 8,9 mg/l bzw. für 19,5 °C 9,17 mg/l für die Sauerstoffsättigung (vgl. RICKERT 2009).



Abbildung 16 Tagesgang der O2-Sättigung in der gesamten Untersuchungsstrecke am 7.7.87. Angaben in % (Quelle: LINNENKAMP und HOFFMANN 1990)

Die Beschattung spielt bei hohen Schwankungen des Sauerstoffgehalts im Wasser eine bedeutende Rolle, da durch entsprechende Beschattung ein Sauerstoffüberschuss unterbunden werden kann. An wenig oder nicht beschatteten Flüssen ist die Sauerstoffkonzentration im Sommer am höchsten, da die Assimilation durch die erhöhte Lichtintensität und Wassertemperatur zunimmt. Fließgewässer mit Ufervegetation werden während zunehmend beschattet des Sommers und erreichen die höchsten Sauerstoffkonzentrationen zwischen Frühling und Herbst (Belaubung) (vgl. BREHM 1996).

Abbildung 16 zeigt einen verbesserten Tagesgang der Sauerstoffsättigung nach Durchlauf einer beschatteten Bachstrecke. Im unbeschatteten Bereich können bei Tag Sättigungswerte von 200 % erreicht werden. In der Nacht kann dieser Wert jedoch kritische Größen von 15 % annehmen und so gefährlich für viele Tierarten des Gewässers werden (vgl. RICKERT 2009).

Der Sauerstoffgehalt wird somit von vielen Faktoren beeinflusst. Licht ist ein Faktor, der durch Beschattung einen größeren Einfluss auf die Sauerstoffsättigung im Fließgewässer haben kann, als wenn es ohne Beschattung direkt einwirkt. In weiterer Folge werden starke Sauerstoffschwankungen aufgrund des Lösungskoeffizienten aufgehoben. Der Sauerstoff ist in weiterer Folge für lebende Organismen ein wichtiger Bestandteil im Wasser. Im folgenden Kapitel wird auf die biotischen Auswirkungen der Beschattung näher eingegangen.

#### 2.2.4 Biotische Faktoren der Beschattung

Für das Leben im Fließgewässer gibt es viele Faktoren, die von Bedeutung sind. Die bedeutendsten sind die Strömung und die Sonnenstrahlung. Wie in den Kapiteln zuvor erwähnt wurde, hängt die Temperatur des Wassers und die damit zusammenhängenden unterschiedlich ausgeprägten Tagesschwankungen des Sauerstoffgehalts unmittelbar mit dem Vorhandensein und der Intensität des Lichtes zusammen. Die Strömung ist als geografisch abhängiger Faktor zu betrachten, sie prägt und gestaltet den Lebensraum. Da die Beschattung abiotische Faktoren beeinflusst, ist es nachvollziehbar, dass biotische Faktoren und Lebensräume unter Wasser ebenfalls beeinflusst werden.

### 2.2.4.1 Licht und Primärproduktion

Unter allen Prozessen, die als Primärproduktion - die Herstellung aus anorganischem Material zu organischem Material – bezeichnet werden, ist die Photosynthese die wohl quantitativ wertvollste. Als Energiequelle dient dabei die Sonnenstrahlung (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Pflanzen produzieren nur tagsüber Sauerstoff. Nachts verwenden sie den produzierten Sauerstoff zur eigenen Zellatmung und verursachen dadurch Sauerstoffdefizite und somit starke tagesperiodische Schwankungen. In beschatteten Fließgewässern kann durch die geringere Lichtintensität weniger Sauerstoff produziert und das Wachstum von Algen und Makrophyten minimiert werden (siehe Kapitel 2.1.4). Folglich sinkt der Sauerstoffgehalt in

diesem Bereich insgesamt leicht ab, die Tagesschwankungen der Sauerstoffkonzentration werden kleiner.

Der kurzwellige Strahlungsbereich, die sogenannte UV-Strahlung, von 280 nm bis 380 nm hat für Organismen eine schädliche Wirkung. Vor allem die UV-B Strahlung (280 nm bis 320 nm) ist durch ihre DNA-schädigende Wirkung gefährlich. Schädigungen dieser Art können sich durch Reparaturenzyme, vermehrte UV-A Einstrahlung oder verminderter UV-B Einstrahlung schnell wieder normalisieren. Die UV-B Strahlung wird von der Wasseroberfläche schnell absorbiert und dringt deshalb nur in geringe Wassertiefen ein, was mit den im Wasser gelösten organischen Substanzen zusammenhängt (siehe Kapitel 2.2.3.1) (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Licht hat für Organismen eine wesentliche Bedeutung. Einerseits gilt Licht als Energiequelle, andererseits dient es zur Orientierung bzw. steuert für Tiere und Pflanzen den Tag/Nachtzyklus. Aktivitäten und auch zeitliche Abfolgen, wie z.B. das Laichverhalten von Fischen, können genau abgestimmt werden. Die Beschattung hat hier eine wesentlich kleinere Bedeutung, da sie nur partiell auftritt und die Verhaltensmuster der Tiere nicht verändert. Viel mehr Einfluss übt dabei die Tagesdauer und die Länge der Einstrahlung aus. Beschattung nimmt in diesem Sinne keinen Stellenwert ein, da Tag und Nacht nicht durch diese erzeugt werden können. Wenn zwar keine direkte Sonnenstrahlung auftrifft, gibt es dennoch die diffuse Himmelsstrahlung und Reste des durchs Blätterdach gelangenden Lichts. Für Makrophyten und Wasserpflanzen trifft durch die Absorbtion der photosynthetisch aktiven Strahlung der Blätter nur noch relativ unproduktive Strahlung durch die Vegetation, weshalb sie in solchen Flussabschnitten nicht vermehrt auftreten können.

#### 2.2.4.2 Temperatur und Sauerstoff

Im Allgemeinen sind aquatische Lebensräume geringeren tages- und jahresperiodischen Temperaturunterschieden ausgesetzt als terrestrische. Durchschnittlich liegen diese Temperaturwerte zwischen 0 °C und 35 °C. Aus diesem Grund spielt die Temperatur im Wasser eine wesentlich geringere Rolle wie am Land. Die jedoch aus der Temperatur abgeleitete und in Abhängigkeit dazu stehende Sauerstoffsättigung (siehe Kapitel 2.2.3.3) ist für viele Bewohner ausschlaggebend.

Im Grunde wird zwischen zwei Arten von Lebewesen unterschieden: den stenöken und den euryöken Arten. Die stenöken Arten besitzen gegenüber den euryöken Arten über einen kleineren Toleranzbereich in Hinsicht auf Schwankungen lebenswichtiger Umweltbedingungen (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Besonders stenöke Arten, wie *Salmo trutta fario* (Bachforelle), reagieren sehr empfindlich auf sich ändernde Umweltbedingungen. Sie profitieren daher stark von der regulierenden Wirkung von Beschattung. Bei wechselwarmen Tieren, wie Fischen, bewirkt eine Erhöhung der Temperatur gleichzeitig einen ansteigenden Bedarf und Verbrauch an Sauerstoff. Folglich kann eine Temperaturerhöhung sehr schnell kritische Folgen für stenöke Arten haben.

Für einige Wassertiere wurde bewiesen, dass sie nicht über oder unter bestimmten Temperaturen überleben können. Sie ziehen sich somit in bestimmte Bereiche des Gewässers, wie z.B. kälteres Wasser oder warmes Oberflächenwasser, zurück. *Filina hofmanni* (Rädertier) kann nicht oberhalb von 10 °C und *Mysis relicta* (Reliktkrebschen) kann nur unter einer Temperatur von 14 °C überleben (vgl. LAMPERT und SOMMER 1999).

Auswirkungen von Temperaturen sind nicht nur bei adulten Tieren zu beobachten. Vor allem bei Jungtieren und bei Eiern ist die Temperatur ein wichtiger Faktor für deren Entwicklung. In Abbildung 17 wird die Entwicklungszeit der Eier von verschiedenen Zooplanktonarten in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeigt.



Abbildung 17 Eientwicklungszeiten mehrerer Zooplanktonarten in Abhängigkeit von der Temperatur (Quelle: modifiziert übernommen aus BOTTRELL 1975)

# **3** Modellversuch zur Beschattung

Im folgenden Modellversuch wird die Abschwächung der Strahlungsintensität durch die oft für ingenieurbiologische Maßnahmen verwendete Purpurweide (*Salix purpurea*) untersucht. Ziel des Versuchs ist es, Erkenntnisse über die auf die Wasseroberfläche aufkommende Strahlung nach dem Durchgang durch eine *Salix purpurea* Hecke (in Vertretung für die Ufervegetation) zu gewinnen. Da angestrebt wird, standardisierte Bedingungen herzustellen, wird dieser Versuch im Modell und nicht im Freiland durchgeführt. Die Weiden bestehen aus gleichaltrigen und gleichhohen Ruten aus demselben Bestand. Die Messungen haben jeweils zur gleichen Zeit stattgefunden.

Für den Modellversuch wurden der 30.Juni, der 1.Juli und der 2.Juli.2010 ausgewählt, da an diesen Tagen klarer Himmel und wenig Wind zu erwarten war. In diesen Monaten ist die Sonnenstrahlung besonders intensiv und der Sonnenstand änderte sich am geringsten. Es kann daher von qualitativ hochwertigen Standortbedingungen ausgegangen werden.

Die Messungen wurden auf der Terrasse im 3. Stock des Schwackhöferhauses der BOKU Wien durchgeführt.

Die Messtage wurden folgendermaßen eingeteilt:

- 8 10 Uhr: Weidenruten in Großenzersdorf schneiden
- 10 11 Uhr: Vorbereitung der Messungen (Weiden nummerieren und stecken, Roboter einrichten)
- 11 14 Uhr: Messungen
- Ab 14.00 Uhr: Vegetationsaufnahmen (Durchmesser, Verzweigung, Blatttrockenmasse)

Der Modellaufbau, die Aufnahmemethode, die Auswertungsmethodik und die ausgewerteten Ergebnisse werden in den nächsten Kapiteln genauer erläutert.

# 3.1 Modellaufbau und Funktionsweise

Die Strahlungsintensität wurde beim folgenden Modellversuch auf einem Quadratmeter gemessen. In Abbildung 18 und Abbildung 19 wird der Aufbau des Modellversuchs schematisch und bildlich dargestellt.



Abbildung 18 Schematische Darstellung des Modellversuchs

In Abbildung 18 ist der Aufbau des Modellversuchs schematisch dargestellt. Zu sehen ist der mit Wasser gefüllte Stecktisch, in dem die Weidenruten eingesteckt sind. Der durch die Weidenruten geworfene Schatten wird durch vier Sensorenstände aufgenommen. Der Referenzsensorenstand befindet sich im vollbesonnten Bereich auf einer Höhe von ca. 130 cm, um für die Auswertung Referenzwerte zu liefern. Pro Sensorenstand ist jeweils ein PAR- und ein Globalsensor angebracht.



Abbildung 19 Modellaufbau, Schwackhöferhaus, Terasse im 3. Stock, am 30.6.2010

Die Weidenruten aus dem Weidengarten in Großenzersdorf werden auf eine Gesamtlänge von 180 cm zugeschnitten und in den Stecktisch gesteckt - wobei sie dann eine Höhe von 150 cm haben - nachdem sie einzeln nummeriert worden sind. Zuerst wird eine Messung mit 100 % gesteckten Weidenruten durchgeführt. Anschließend werden konstant 10 % der Weiden entnommen und jeweils Messungen der PAR- und Globalstrahlung in verschiedenen Entfernungen zur Hecke durchgeführt. Die Untersuchungen finden zmit zwei unterschiedlichen Stecksystemen statt: der gleichmäßigen und der flächigen Steckweise. Näheres zu den genaueren Entnahmen folgt im Kapitel 3.1.1. Für jede Steckdichte an Weidenruten werden zwei Messdurchgänge - jeweils einmal hin und einmal zurück - durchgeführt, um genauere Durchschnittswerte zu erhalten. Genauere Auswertungen wurden an diesen drei Messtagen nur für die Bereiche bei einer Dichte von 80 %, 50 % und 20 % gemacht, da diese Bereiche, im Durchschnitt betrachtet, Aufschluss über die restlichen Prozentwerte liefern. In Abbildung 20 ist die Unterscheidung von gleichmäßiger und flächiger Entnahme schematisch dargestellt.

Gleichmäßig 20%



#### Flächig 20%



#### Gleichmäßig 50%



#### Flächig 50%



Gleichmäßig 80%



#### Flächig 80%



Abbildung 20 *Gleichmäßige* und *flächige* Entnahme der Weidenruten aus dem Stecktisch. grüne Punkte = entnommene Weiden

Die Messung erfolgte auf einem drehbaren Untergerüst. Der Sonnenstand und der Schattenwurf ändern sich im Laufe des Tages. Diesen Faktor haben wir, um gleiche Verhältnisse zu schaffen, weggelassen, indem wir den Modellaufbau mit der Sonne mitdrehten. Dies bewirkt, dass zu jedem Zeitpunkt des Messversuchs der gleiche, quantitativ betrachtete Schatten auf der gesamten Messfläche projiziert ist.

#### 3.1.1 Stecksystem

Für den Stecktisch wurde eine Spannplatte mit den Maßen 125 x 30 x 1 cm verwendet. Insgesamt wurden 47 Stecklöcher im Abstand von 5 cm mit einem Durchmesser von 12 mm gebohrt, welche versetzt angeordnet worden sind.

Um die Weiden, im Schnitt von 8:00 – 9:00 Uhr, bis zum Ende der Messungen um 14:00 Uhr bei Temperaturen von bis zu 30 °C und direkter Sonneneinstrahlung mit Wasser zu versorgen, wurde ein Behälter mit Wasserkammer gebaut (Abbildung 21). Es ist daher anzunehmen, dass die optischen Eigenschaften der untersuchten Blätter nicht infolge von Austrocknung verfälscht wurden. Die Weiden wurden, um das Wasser besser aufnehmen zu können, an der Rutenbasis schräg abgeschnitten. Damit wurde mehr Fläche für die Wasseraufnahme bereitgestellt. Weiters wurden die Weiden bis zur Messung im Wasser und im Schatten gelagert.



Abbildung 21 Stecktisch mit Weidenruten und dem mit Wasser gefüllten Behälter, am 30.6.2010

Das Auslichten der Weiden wird in Abbildung 22 genauer dargestellt. Die Summe der Weidenruten bei den verschiedenen Prozentwerten ist jeweils gleich. In Tabelle 6 wird veranschaulicht, welche Weiden bei der gleichmäßigen Steckweise entnommen werden, und welche Farbe welchem Prozentwert zugeordnet wird.

		Flächig	Gleichmaßig
-	%	Anz. Ruten	Anz. Ruten
	100	47	47
	90	43	43 (1,15,32,47)
	80	38	38 (18,22,27,29,37)
	70	33	33 (6,20,26,35,40)
	60	28	28 (5,14,23,33,42)
	50	23	23 (3,12,17,31,44)
	40	19	19 (10,30,39,45)
	30	14	14 (4,13,24,34,41)
	20	9	9 (2,7,8,19,38)
	10	5	5 (11,21,25,43)
	0	0	0 (9,16,28,36,46)

 Tabelle 6 Anzahl der Weidenruten bei flächiger und gleichmäßiger Steckweise sowie die einzelnen Ruten dazu, welche bei der gleichmäßigen Steckweise entfernt wurden (Quelle: modifiziert übernommen aus HOLZAPFEL 2010)

Im Laufe des Messversuchs werden jeweils nach einer Messung 10 % der Weiden entnommen. In Abbildung 22 sieht man eine schematische Skizze der *flächigen* und *gleichmäßigen* Entnahme. Für die Auswertung wurden die Prozentbereiche 20 %, 50 % und 80 % genauer betrachtet. In diesen Bereichen soll untersucht werden, ob es in der Strahlungsmenge Unterschiede zwischen den beiden Steckweisen gibt. In den Auswertungen gibt es auch den Wert "100 % Platte". Dieser Wert diente als Referenzwert und bedeutet, dass hinter der Weidenwand eine Platte aufgestellt wurde, um jegliche direkte Sonnenstrahlung abzuschirmen.



Abbildung 22 Schematische Darstellung der Steckweisen: flächige Steckweise (oben), gleichmäßige Steckweise (unten) (Quelle: HOLZAPFEL 2010)

#### 3.1.2 Messroboter

Die Strahlungsintensität wurde mittels eines Messroboters gemessen, welcher an der Universität für Bodenkultur von DI Gerda Holzapfel mit Hilfe von Mitarbeitern des Instituts IBLB und des Instituts für Meteorologie entwickelt und gebaut worden ist. Der Roboter fährt bei einem Messdurchgang einmal hin und wieder zurück. Ein Durchgang dauert ca. 40 Sekunden und es wurden vier Messungen in der Sekunde durchgeführt.

#### 3.1.2.1 Aufbau des Messroboters

In Abbildung 23 wird der Aufbau des Messroboters schematisch dargestellt. Der Antrieb (1) erfolgt mittels Akku (2). Um einen geraden und gleichmäßigen Weg zurückzulegen, läuft der Roboter auf zwei Holzbrettern mit Schienen (7). Dies hat den Vorteil, dass die Daten konstant aufgenommen werden und dadurch qualitativ hochwertiger ausfallen. Mittels eines Auswertungsmoduls (3), dem Datenlogger, können die Daten direkt auf einen Computer in eine Tabellenform übertragen werden. Die Taster (4) an der linken, unteren Seite geben dem Roboter an, an welcher Stelle er sich gerade im Messsystem befindet. Mit Hilfe des installierten Programms, mit dem der Messroboter ausgestattet ist, und den Tastern wird dieser genau justiert. Bei der Auswertung sind diese Tastbewegungen ebenfalls aufgezeichnet und es kann nachvollzogen werden, an welchem Messpunkt sich der Roboter befand und in welche Richtung er sich bewegte. Der Roboter ist insgesamt mit 10 Messsensoren ausgestattet. Acht davon (in Paaren angeordnet, jeweils ein PAR- und ein Globalsensor) befinden sich im Schattenbereich (5), um die durch die Blätter durchgehende PAR- und Globalstrahlung zu messen. Zwei Messsensoren (ein PAR- und ein Globalsensor) dienen als Referenzsensoren (6), welche direkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Im Kapitel 3.1.2.2 werden die Sensoren genauer behandelt. Der Datenlogger (3) ist mit den Messsensoren und den Tastern mit Datenübertragungskabeln verbunden.



Abbildung 23 Messroboter: Schematische Skizze

# 3.1.2.2 Sensoren

Wie schon erwähnt, befinden sich insgesamt zehn Strahlungsmesssensoren am Messroboter. Fünf davon sind PAR- Sensoren (Abbildung 24) und die restlichen fünf sind Globalstrahlungssensoren (Abbildung 25). Diese werden in Paaren angeordnet, um an möglichst gleichen Punkten zu messen.

"PAR- Sensoren (Abbildung 24): Name: Quantum Sensor EMS 12
Firma: Environmental Measurement Systems
Wellenlängenbereich: 400 nm bis 700 nm
Photovoltaischer Silikondetektor



Abbildung 24 PAR- Sensor (Quelle: EMSBRNO 2010)

# Spezifikation:

- Elektrisches Ausgangssignal
- Empfindlichkeit: 25 mV @ 2000 µmol.s<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>
- Linearität bis zu 1 % bis zu 2000 µmol.s<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>
- Kosinusfehler < 10 % bis zu 85 ° Einfallswinkel
- Betriebstemperatur: 20 °C bis 60 °C

# Globalsensoren (Abbildung 25):

Name: Global radiation sensor EMS 11 Firma: Environmental Measurement Systems Wellenlängenbereich: 300 nm bis 3000 nm Photovoltaischer Silikondetektor Spezifikation:

• Elektrisches Ausgangssignal

- Empfindlichkeit: 20 mV pro 1000 Wm<sup>-2</sup>
- Kalibrierungsfehler unter Voraussetzung von Tageslicht max. 7 %
- Linearität bis zu 1 %
- Kosinusfehler < 10 % bis 85 ° Einfallswinkel
- Betriebstemperatur: 20 °C bis 60 °C"(EMSBRNO 2010)

Die Sensoren wurden vor den Messungen am Dach des Schwackhöferhauses der BOKU Wien kalibriert. Das Ausgabesignal der Sensoren ist mittels des Kalibrierfaktors direkt proportional zur Strahlungsstärke.

In Abbildung 26 sind die Messensoren und deren Anbringung am Messroboter dargestellt.



Abbildung 25 Globalsensor (Quelle: EMSBRNO 2010)



Abbildung 26 Messensoren am Messroboter, 30.6.2010

Die im Schattenbereich angebrachten acht Sensoren sind jeweils 20 cm voneinander entfernt, um die in vier Höhenstufen eingeteilten Weidenruten gleichmäßig zu bemessen. Diese Abmessungen beziehen sich ebenfalls auf den Winkel der eintreffenden Sonnenstrahlen. Dieser wird im nachfolgenden Kapitel (3.1.3) genauer erläutert. Die Werte der beiden Referenzsensoren dienen bei der Auswertung als Referenzwerte, um Messungen bei sich ändernden Strahlungsverhältnissen vergleichen zu können. Dies kann durch Wolken, sich erhöhender Luftfeuchtigkeit oder einer erhöhten Streuung in der Atmosphäre im Verlauf des Tages bewirkt werden.

Für die Aufzeichnung der Strahlungsdaten der Messsensoren wird der **CR 1000 Datenlogger** (Abbildung 27) von Campbell Scientific Inc. verwendet. Dieser ist für wartungsfreie Netzanwendungen ausgelegt. Er besitzt einen 4 GB SRAM Speicher, wobei eine zusätzliche Datenspeicherung auf einer Compact - Flash Karte möglich ist. Die Datenspeicherung basiert auf einer Tabellenform. Das beinhaltete Betriebssystem heißt PakBus.



Abbildung 27 CR 1000 Datenlogger (Quelle: CAMPBELL 2010)

#### 3.1.3 Sonnenhöchststände

Die Weidenrutenhöhe und die daraus resultierenden Sensorentfernungen werden mittels Eintrittswinkel der Sonnenstrahlen berechnet. Die Länge der Weidenruten ergibt sich aus einem 30 cm langen Teil, der im Wasserbehälter steht und nebenbei die Stabilität garantiert, und dem 150 cm langen blattreichen Teil, welcher für die Messungen relevant ist. Die 150 cm Rutenlänge ergibt sich aus dem Schattenwurf eines Gegenstandes, der zu einer bestimmten Zeit – in diesem Falle zwischen 11:00 und 14:00 Uhr - in Abhängigkeit von der geographischen Breite eine bestimmte Schattenlänge erzeugt. Für Wien gelten folgende geographische Werte: geogr. Breite : 48.20°; geogr. Länge : 16.37°. Die Länge des Schattens, der für unseren Modelversuch ausreichend war, musste mindestens 80 cm lang sein. Um diese Länge am 30.Juni bis 2.Juli zu erreichen, mussten die Weidenruten eine Länge von 150 cm aufweisen. In Abbildung 28 sind die unterschiedlichen Schattenwürfe zu unterschiedlichen Zeitpunkten und die Abmessungen der Sensoren zueinander eingezeichnet. Die astrologischen Klimadaten für diese Auswertung wurden vom Institut für Meteorologie zur Verfügung gestellt.





Abbildung 28 Sonnenhöchststände bei unterschiedlichen Tageszeiten für den 30.6. - 2.7.2010 und Mindestabstände der Sensoren um 11:00 Uhr

# 3.2 Aufnahmemethode

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Methoden beschrieben, welche für die Auswertung der Daten Verwendung fanden.

#### 3.2.1 Vegetationsaufnahme

Bei der Vegetationsaufnahme werden die Weidenruten nach den Messungen einzeln vermessen. Dafür werden sie auf den in Abbildung 29 abgebildeten Aufnahmetisch aufgelegt. Auf diesem Tisch wird ein Zentimeterraster angebracht, welcher ebenfalls die Unterteilung in die vier Höhenstufen besser ersichtlich macht. Bei der Vegetationsaufnahme wird zuerst die Höhe des ersten Astes gemessen. Anschließend werden die Verzweigungen gezählt. Der Haupttrieb wird mit Verzweigung erster Ordnung bezeichnet. Jede Abzweigung von diesem Trieb wird mit Verzweigung zweiter Ordnung gekennzeichnet, usw. Außerdem wird der Durchmesser der Weidenruten bei den unterschiedlichen Höhenabschnitten H1 (0 cm), H2 (37,5 cm), H3 (75 cm) und H4 (112,5 cm) mittels einer Schiebelehre ermittelt.



Abbildung 29 Aufnahmetisch mit Weidenrute und Skala, Rute 45 am 30.6.2010

Zuletzt werden die Höhenabschnitte der Weidenrute abgeschnitten, von den Blättern getrennt und in Papierkuverts gepackt. Diese werden später im Trockenschrank bei 75°C vier Tage lang getrocknet. Dies dient dazu, das Wasser aus den Blättern zu entfernen, um bei der Messung des Blatttrockengewichts gleiche Bedingungen für die einzelnen Ruten der drei Messtage zu schaffen. Die Ermittlung der Blattflächen wird im Kapitel 3.2.3 näher erläutert. Im Anhang 2 sind die Tabellen der Vegetationsaufnahmen dargestellt.

#### 3.2.2 Strahlungintensitätsaufnahme

Die Strahlungsintensitätsaufnahme erfolgt mittels Messroboter. Dieser macht, wie schon zuvor erwähnt, in einer Sekunde vier Aufnahmen. Insgesamt werden für eine Vegetationsdichte zwei Messungen zu jeweils 440 Messpunkten in vier verschiedenen Entfernungen von der Weidenhecke (insgesamt 880) durchgeführt.

Bei der Strahlungsintensitätsaufnahme wird der vom Messroboter ausgegebene Datenstrang mittels Microsoft Excel sortiert und ausgewertet. Jede Messung hat eine Messnummer und eine Zeiterfassung, falls Störungen durch Wind und Wolken zu Fehlern führen sollten. Im Aufnahmeprotokoll der einzelnen Messtage werden die jeweilige Steckdichte in Prozent, die Steckweise und die dazugehörigen Fotonummern mitgeschrieben. Im Anhang 1 sind die einzelnen Protokolle beigefügt.

Um die Messdaten in entsprechender Form auswerten zu können, mussten diese Daten zuerst auf eine entsprechende Länge gebracht werden, sodass jede Messung mit 880 Messpunkten gleich lang ist. Mittels des Timestamp (= Aufnahmezeitpunkt), der Record Nummer und der Messungsnummer konnten die richtigen Werte für die einzelnen Messungen gut unterschieden werden. Anschließend wurden die Mittelwerte der einzelnen Sensorenwerte ermittelt. Im beigefügten Datenträger (Anhang CD) können diese Tabellen näher betrachtet werden. In den nachfolgenden Tabellen werden die Mittelwerte der Messungen mit dem Faktor, der zuvor von den Sensoren kalibriert wurde, multipliziert, um die Werte in den Einheiten W/m<sup>2</sup> (Global) und in  $\mu$ Moll/m<sup>2</sup>s (PAR) umzuwandeln. Diese erhaltenen Werte ergaben anschließend durch das Verhältnis zu den Referenzsensoren die relativen Werte unserer Messungen.

### 3.2.3 Blattfläche

Die Belaubungsdichte eines Bestandes lässt sich durch den Blattflächenindex (BFI) zahlenmäßig gut erfassen. Inspiriert durch diesen BFI haben wir bei den Berechnungen im Gegensatz dazu nur die Belaubungsfläche (Belaubungsdichte) herangezogen ohne die Bestandsfläche mit einzuberechnen. Dieser Wert wird durch genaue Messungen von fünf Referenzruten auf die anderen Weidenruten aufgerechnet. Bei diesen Ruten wird jedes Blatt in den unterschiedlichen Höhenstufen einzeln händisch abgezupft und eingescannt. Im Anhang 6 können die Scans und die Tabellen näher betrachtet werden. Weiters werden dieselben Messdaten erhoben wie sie bei der Vegetationsaufnahme der einzelnen Ruten durchgeführt worden sind.

Mit dem Programm Adobe Photoshop CS3 werden anschließend durch das Tool Histogramm die Pixel der Blätter berechnet und auf cm<sup>2</sup> bzw. m<sup>2</sup> umgerechnet. Die Toleranz des Zauberstab Tools wird von 50 auf 100 Pixel erhöht, um die Ränder der Blätter genauer einzurahmen. In Abbildung 30 wird die Ungenauigkeit unterschiedlicher Toleranzen aufgezeigt. Die strichlierte Linie rund um die Blätter ist die Auswahl des Zauberstab Tools. Im linken Bild, bei einem Toleranzbereich von 50, ist in der Auswahl oft noch der Schatten des Blattes mit einbezogen, was im rechten Bild, bei einer Toleranz von 100, nicht der Fall ist. Dies würde grobe Fehler in den Ergebnissen hervorrufen.



Abbildung 30 Bearbeitung der Blätter mittels Photoshop; Toleranz 50 (links); Toleranz 100 (rechts), am 5.10.2010

Die fünf Weidenruten werden anschließend vier Tage bei 75°C im Trockenofen getrocknet und dann gewogen. Die gewogene Blatttrockenmasse wird danach mit der errechneten Fläche verglichen und es wird ein Faktor ermittelt, um vom Trockengewicht auf die Blattfläche [cm<sup>2</sup>] schließen zu können. Dies wird bei allen fünf Referenzruten durchgeführt, ein allgemeiner Durchschnitt für jede Höhenstufe ermittelt und auf die restlichen Ruten pro Höhenstufe aufgerechnet.

# 4 Ergebnisse

# 4.1 Ergebnisse der Vegetationsaufnahme

Die Ergebnisse der drei Messtage sind bei der Vegetationsaufnahme vergleichbar ausgefallen. Abweichungen sind nur vereinzelt bei wenigen Weidenruten zu finden. Somit wird für diese Auswertung ein Mittelwert der drei Messtage genommen, welcher genauer aufgezeigt wird und als grundsätzliche Charakterisierung der Weidenruten dient.

Bei der Auswertung des Verhältnisses der Trockenmasse des Holzes und der Blätter wurde an allen Messtagen ein Durchschnittswert von etwa 50 % errechnet. Die genauen Werte lagen am 30.1.2010 bei 51,17 %, am 1.7.2010 bei 48,8 % und am 2.7.2010 bei 49,8 %. In Abbildung 31 und 32 ist zu erkennen, dass dieses Verhältnis auf Grund der Weidenruten und ihres Aufbaus zwar schwankt, jedoch dieser Wert (Abbildung 31) nur selten mehr als 10 % - 15 % abweicht. In diesem Diagramm besagt ein höherer Prozentwert, dass mehr Blatttrockengewicht pro Holztrockengewicht vorhanden ist.



Abbildung 31 Vergleich Holztrockengewicht zu Blatttrockengewicht aller drei Messtage im Durchschnitt



Abbildung 32 Zusammenhang Holztrockengewicht zu Blatttrockengewicht aller drei Messtage

In der Abbildung 33 ist rechts die Weidenrute mit der Nummer 40 und links die Weidenrute mit der Nummer 32 abgebildet. Diese beiden Ruten haben jeweils den höchsten (40) bzw. den tiefsten (32) Wert beim Verhältnis von Holztrockengewicht zu Blatttrockengewicht.



Abbildung 33 Weidenruten Nummer 32 (links) und Nummer 40 (rechts), vom 30.6.2010

Im Vergleich hat die Weidenrute 32 in den verschiedenen Höhenstufen Durchmesserwerte von 0,8 mm (H1), 0,7 mm (H2), 0,55 mm (H3) und 0,4 mm (H4) und die Weidenrute 40 Werte von 1,1 mm (H1), 0,7 (H2), 0,5 mm (H3) und 0,2 mm (H4). Hier ist zu erkennen, dass ein stärkerer Basisdurchmesser mehr Einfluss auf das Verhältnis Blatttrockenmasse zu Holztrockenmasse hat als eine vergleichsweise dünnere Spitzenpartie. Die Trockenmasse der Rute 40 beträgt 41,7 g und die Trockenmasse der Rute 32 beträgt hingegen nur 23,1 g. Der Durchmesser der Äste hat Auswirkungen auf die Blatttrockenmasse wie man in Abbildung 34 sehen kann. Bei steigendem Durchmesser an der Basis steigt ebenfalls die Blattmenge und somit auch das resultierende Trockengewicht der Blätter. Die Blatttrockenmasse der Rute 40 beträgt 26,5 g und die der Rute 32 nur 8,7 g.



Abbildung 34 Zusammenhang des Durchmessers an der Basis (H1) und des Blatttrockengewichtes der Weidenruten aller drei Messtage im Durchschnitt

Die Dichte bzw. die Aufteilung des Blatttrockengewichts auf die unterschiedlichen Höhenstufen ist in Abbildung 35 dargestellt. Für den durchschnittlichen Anteil aller drei Messtage beträgt dies 2 % für die Höhe 1, 19 % für die Höhe 2, 41 % für Höhe 3 und 39 % für Höhe 4 des gesamten Blattgewichts.



Abbildung 35 Blatttrockengewicht in den unterschiedlichen Höhenabschnitten aller drei Messtage im

Durchschnitt

#### 4.2 Ergebnisse der Strahlungsintensität

Für die Auswertung der Ergebnisse dient der durchschnittliche Mittelwert der Strahlungsintensitätswerte der einzelnen PAR – Sensoren und ein durchschnittlicher Mittelwert der Strahlungsintensitätswerte der einzelnen Globalsensoren pro zwei Messungen jeder prozentuellen Steckdichte. Die PAR- und Globalsensoren ergaben ähnliche Ergebnisse. Aus diesem Grund wird nicht getrennt darauf eingegangen.

Die Strahlungsintensität, ausgedrückt durch eine Zahl und stellvertretend für die ganze Fläche, steigt wie erwartet im Verlauf der Messungen bei gleichmäßiger Abnahme der Weidenruten stetig an. In den Abbildungen 36 - 38 wird diese Zunahme an den einzelnen Tagen grafisch dargestellt. Abbildung 39 zeigt den Mittelwert der drei Tage in einer Grafik. Zu sehen ist neben der Zunahme der Strahlungsintensität auch der unterschiedliche Effekt der verschiedenen Steckweisen. Hier konnte festgestellt werden, dass bei gleichmäßiger Entnahme der Weidenruten ein qualitativ hochwertigeres Schattengefüge besteht als bei flächiger Entnahme. Am 2.7.2010 steigt bei gleichmäßiger Entnahme der gesteckten Weidenruten - von 100 % bis 30 % - die Strahlungsintensität nur langsam von 14 % auf 35 % an. Anschließend wird die Kurve steiler und endet bei einer Steckdichte von 10 % bei 62 % Strahlungsintensität. Im Gegensatz dazu ist die Kurve der flächigen Steckweise steiler und endet bei einer Steckdichte von 10 % bei 85 % Strahlungsintensität. Diese Werte sind zwar an den unterschiedlichen Messtagen verschieden hoch, die Endbetrachtung ergibt ein trendmäßig gleiches Ergebnis. Am 1.7.2010 erreichten die Messungen der flächigen Steckweise bei einer Steckdichte von 10 % Werte von 97 % Strahlungsintensität. Der 30.6.2010 zeigt ebenfalls dieselben trendmäßigen Ergebnisse wie der 1.7.2010.

Auffallend ist, dass am 30.6.2010 zwischen "90 % und 80 % Pflanze" und am 1.7.2010 zwischen "30 % und 20 % Pflanze" ein Knick in der Kurve zu sehen ist. Dieser Knick könnte am 30.6.2010 durch einen Windstoß verursacht worden sein, welcher in den Aufzeichnungen der Messprotokolle (Anhang 1) vermerkt ist. Die Messungen wurden nicht wiederholt, da die Auswirkungen auf die Ergebnisse nicht als ausschlaggebend betrachtet werden. Am 1.7.2010 ist jedoch unklar, was diesen Knick ausgelöst haben könnte. Durch den Referenzsensor, welcher durchgehend bei 100 % Strahlungsintensität liegt, kann die Vermutung ausgeschlossen werden, dass dieser Knick in der Grafik durch den Einfluss von Wolken entstanden ist. Es könnte leichter, aber stetiger Wind die Ursache



gewesen sein, welcher bei den Messungen nicht aufgefallen ist und deshalb nicht vermerkt worden ist.

Abbildung 36 Gesamtstrahlung der Fläche am 2.7.2010 bei flächiger und gleichmäßiger Steckweise



Abbildung 37 Gesamtstrahlung der Fläche am 1.7.2010 bei flächiger und gleichmäßiger Steckweise



Abbildung 38 Gesamtstrahlung der Fläche am 30.6.2010 bei flächiger und gleichmäßiger Steckweise



Abbildung 39 Gesamtstrahlung der Fläche aller drei Messtage bei flächiger und gleichmäßiger Steckweise

Aus der Abbildung 39 ist zu entnehmen, dass bei *gleichmäßiger* Entnahme der Weiden ab einer Steckdichte von 40 % ein deutlicher Anstieg der Strahlungsintensität von 37 % auf 72 % erfolgt. Bei einer Steckdichte von 100 % bis 70 % sind kaum Veränderungen der Strahlungsintensität zu beobachten. Diese steigt in diesem Bereich nur langsam von 16,5 % auf 23 % an. Im Gegensatz dazu entspricht die Zunahme der Strahlungsintensität bei der *flächigen* Steckweise beinahe einer Geraden und reicht von 16,5 % bis 93 %. Bei einer Steckdichte von 10 % erreicht die *gleichmäßige* Steckweise Strahlungswerte, die rund 20 % niedriger sind als die der *flächigen* Steckweise.

In Abbildung 40 wird die Strahlungsintensitätsauswertung bei *gleichmäßiger* Steckweise der einzelnen PAR - Sensoren bei 80 %, 50 % und 20 % vom 2.7.2010 aufgezeigt. Diese Abbildung soll als Beispiel dienen und aufzeigen, dass die Sensoren, welche weiter vom Stecktisch entfernt stehen (PAR 8), mehr Strahlung abbekommen als jene Sensoren, welche näher zum Tisch stehen (PAR 2). Dies wird mit gleichmäßiger Abnahme der Weidenruten immer deutlicher erkennbar. Durch die Biegung der Weidenruten in den Spitzenpartien werden diese löchriger und lassen mehr Strahlung durch als die dichter stehenden unteren Bereiche der Weidenwand. Die Globalsensoren ergeben ein beinahe gleiches Bild.







Abbildung 40 PAR - Sensoren bei 80%, 50% und 20% gleichmäßiger Steckweise am 2.7.2010

#### 4.3 Zusammenhang von Vegetation und Strahlungsdurchlässigkeit

Zusammenfassend betrachtet, korrelieren in vielen Fällen die Ergebnisse der Strahlungsintensität mit den Ergebnissen der Vegetationsaufnahme. Vor allem bei der *gleichmäßigen* Steckweise können brauchbare Rückschlüsse, auf die der Vegetation zugrundeliegenden Strahlungsintensität, gezogen werden. Bei sehr dichter Bepflanzung kommt, wie angenommen, weniger Strahlung durch als bei lockerer Bepflanzung. Die Steckdichte hat Einfluss auf die Strahlungsintensität der bemessenen Fläche. Es konnte ein direkter Zusammenhang zwischen der Abnahme der Weidenruten am Stecktisch und der Strahlungsintensität beobachtet werden. In Abbildung 41 wird die Blattfläche zu den gesteckten Prozenten dargestellt. In diesem Punkt muss jedoch der Wind und die Krümmung der einzelnen Weiden vernachlässigt werden, da diese einen nur geringfügigen Einfluss auf die Schattenfläche nehmen. Vor allem die Spitzenpartien der Weidenruten, welche eine relativ hohe Blattmasse aufweisen, sind durch diese Faktoren stärker betroffen und haben Einfluss auf die Ergebnisse.



Abbildung 41 Verhältnis Blattfläche zu den gesteckten Prozenten für beide Steckweisen am Stecktisch

Bei der *flächigen* Steckweise ist die Korrelation der Ergebnisse nicht so eindeutig wie bei der *gleichmäßigen* Steckweise. Da in den Steckdichten immer die volle Anzahl an Weidenruten – sprich lückenlos - in den 10 cm großen Partien vorhanden ist, kann hier nur partiell verglichen werden und ein Mittelwert des unbeschatteten und des beschatteten Bereichs errechnet werden. Je mehr Schattenfläche, begünstigt durch die prozentuelle

Steckdichte, desto höher ist die Strahlungsundurchlässigkeit. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel mehr auf die gleichmäßige Steckweise eingegangen.

In Abbildung 42 werden die Blattflächen pro 10 cm Stecktischabschnitt aller drei Tage im Durchschnitt aufgezeigt. Zu entnehmen ist, dass mit gleichmäßiger Abnahme der Weidenruten die Strahlungsintensität im Vergleich (Abbildung 39) stetig zunimmt.

Für die Auswirkungen der Blattfläche auf die Strahlungsintensität werden als Beispiel die Werte zweier Tage aufgezeigt. Bei 50 % *gleichmäßig* gesteckten Weidenruten vom 2.7.2010 beträgt die Blattfläche insgesamt 5,5 m<sup>2</sup> und am 30.6.2010 beträgt diese 5,3 m<sup>2</sup>. Die Strahlungsintensität liegt im Vergleich zum unbeschatteten Referenzsensor am 2.7.2010 bei einer Steckdichte von 50 % (Abbildung 36) bei 27 % und am 30.6.2010 (Abbildung 38) bei 36 %. Somit bewirkt eine Differenz der Blattfläche von 2109 cm<sup>2</sup> eine Differenz der Strahlungsintensität von 8,5 %. Bei dieser Steckdichte, welche subjektiv betrachtet sehr dicht erscheint, ist den Messungen zu entnehmen, dass bei zunehmender Blattfläche die Strahlungsintensität nachlässt.







Abbildung 42 Dichte der Weiden bei 80 %, 50% und 20% der gleichmäßigen Steckweise aller drei Messtage

In Abbildung 43 wird der Zusammenhang der Blattflächen der einzelnen Tage mit den Strahlungsintensitätswerten verglichen. Zu sehen ist, dass die Werte der Blattflächen am 1.7.2010 ein deutlich geringeres Ausmaß aufweisen als am 30.6.2010 und am 2.7.2010. Die Strahlungsintensitätswerte ändern sich jedoch und sie sind bei den unterschiedlichen Steckdichten anders ausgeprägt. Der relativ locker bepflanzte Stecktisch bei gleichmäßiger Steckweise kann schon durch eine geringe Zunahme der Blattfläche einen relativ hohen Wert an Strahlung abfangen. Als ein Beispiel wird der Steckbereich von 20 % näher betrachtet. Am 30.6.2010 beträgt die Blattfläche der Weidenruten insgesamt 2,14 m<sup>2</sup>, am 2.7.2010 beträgt diese 2,38 m<sup>2</sup> und am 1.7.2010 beträgt die Blattfläche 1,6 m<sup>2</sup>, also deutlich weniger als an den Tagen zuvor. Am 30.6.2010 beträgt die Strahlungsintensität 60 %, am 2.7.2010 ist diese 51 % und am 1.7.2010 beträgt die Strahlungsintensität 58 %. Hier ist zu erkennen, dass am 2.7.2010 die größte Blattfläche vorhanden und am wenigsten Strahlung durchgelassen wird. Hingegen sind beim 30.6.2010 und beim 1.7.2010 die Werte immer unterschiedlich und es kann kein deutlicher Zusammenhang erkannt werden. Bei 30.6.2010 ist stets eine hohe Blattdichte vorhanden, jedoch sind auch die Werte der Strahlungsintensität sehr hoch. Im Vergleich dazu ist am 1.7.2010 deutlich am wenigsten Blattfläche vorhanden, jedoch sind die Werte der Strahlungsintensität sehr hoch. Dem Anhang 1 ist zu entnehmen, dass bei dieser Messung Windböen aufgetreten sind. Kleine Windböen können schon starke Schwankungen in der Strahlungskurve bewirken, wie in den Strahlungsintensitätsdiagrammen (Abbildung 36-38) entnommen werden kann. Dies kann zur Folge haben, dass die Ergebnisse der Messungen nicht ganz übereinstimmen. Im Großen und Ganzen sind die Ergebnisse aber tendenziell vergleichbar.






Abbildung 43 Zusammenhang der Blattfläche zu der Strahlungsintensität bei einer Steckdichte von 80 %, 50 % und 20 %

In der Abbildung 44 wird die Blattfläche aller drei Messtage im Durchschnitt mit den Prozent an durchglassener Strahlung betrachtet. Zu erkennen ist hier, dass die *flächige* Steckweise - bei gleicher Blattdichte - eine höhere Strahlungsdurchlässigkeit aufweist als die *gleichmäßige* Steckweise. Das Bestimmtheitsmaß [R<sup>2</sup>] erreicht bei den beiden Kurven beinahe 0,9. Dies besagt, dass die Fläche und die Strahlungsdurchlässigkeit eindeutig in einem Verhältnis zueinander stehen.



Abbildung 44 Vergleich der Dichte der Weidenruten zur durchgehenden Strahlung in Prozent

Des Weiteren wurden die erhaltenen Ergebnisse der Strahlungsintensitätsaufnahme mittels des Programms "Surfer 8" grafisch so dargestellt, dass sie mit den Aufnahmen der Vegetationsanalyse verglichen werden konnten. Hierbei wurde ein neues Schema der Darstellung entwickelt. Die Weidenruten wurden in Abschnitte und in Höhenstufen gegliedert und die errechneten Werte der Blattdichte der Aufnahmen aller drei Tage im Durchschnitt in die Spalten eingetragen. Mittels eines Farbenschlüssels konnten die Werte farblich zugeordnet und mit denen der "Surfer"- Grafiken verglichen werden (Abbildung 45 – 48). In einzelnen Partien passen die Werte der Vegetationsaufnahme mit der Grafik des "Surfers" zusammen. Vor allem bei der *flächigen* Steckweise sind die Bereiche mit hoher und niedriger Strahlungsdurchlässigkeit deutlich zu erkennen und mit den Grafiken zu sehen sind, entstehen dadurch, dass sich die Weidenruten nicht nur in den gedachten Bereichen aufhalten, sondern einige Äste auch in die benachbarten Regionen

hineinragen, und so Ungenauigkeiten hervorrufen. Zur genaueren Betrachtung wurden hier nur die Steckdichten von 20 % und von 50 % angeführt, da bei diesen bei *gleichmäßiger* und *flächiger* Steckweise gute Vergleiche gezogen werden können. Die PAR- Sensoren ergeben in diesen Grafiken dasselbe Bild wie die Globalsensoren. Aus diesem Grund werden hier nur die Werte der PAR- Sensoren betrachtet. Bei 100 % und bei 80 % Steckdichte ist ein Vergleich wegen der hohen Blattdichte und des durchgehenden Schattengefüges kaum machbar. Bei einer Steckdichte von 20 % und 50 % ist deutlich erkennbar, dass in den Spitzenpartien bzw. den weitest entfernten Sensoren - in der "Surfer"- Grafik ganz oben – am meisten Strahlung durchgelassen wird. Partien mit niedriger Dichte bzw. hoher Dichte an Blättern können in der "Surfer"- Grafik als helle bzw. beschattete Partien betrachtet werden. Weitere "Surfer" - Grafiken können dem Anhang 7 entnommen werden.



Abbildung 45 Mittelwert der Messtage bei einer *gleichmäβigen* Steckdichte von 20%; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)



PAR 20% flächig - Mittelwerte der Messtage

Abbildung 46 Mittelwert der Messtage bei einer *flächigen* Steckdichte von 20 %; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)

PAR 50% gleichmäßig - Mittelwerte der Messtage



Abbildung 47 Mittelwert der Messtage bei einer *gleichmäβigen* Steckdichte von 50 %; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)



Abbildung 48 Mittelwert der Messtage bei einer *flächigen* Steckdichte von 50 %; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)

#### 4.4 Diskussion der Ergebnisse

Nach LARCHER (1994) absorbieren Blätter je nach Blattaufbau und Ausstattung mit Chloroplasten 60 % - 80 % der photosynthetisch aktiven Strahlung. Nach LINNEKAMP (1990) absorbiert eine geschlossene Uferbepflanzung < 90 % und eine lückige Bepflanzung mindestens 60 % der Strahlung.

Die Ergebnisse des Modellversuches bei einer Dichte der Weiden von 100 % ergaben Werte von etwa 77 % - 87 %. Dieser Wert ist zwar über der besagten Angabe von LINNEKAMP (1990) einzuordnen, jedoch ist zu bemerken, dass unser Modellversuch ebenfalls mit sehr dichter Steckweise durchgeführt wurde, der Versuch von LINNEKAMP (1990) jedoch unter anderen Bedingungen stattfand. Hier wäre die diffuse Himmelsstrahlung zu nennen, welche sich direkt unter einem beschatteten Blätterdach im Unterholz eines Baches weniger auswirkt als bei einer einfachen Hecke auf einer Dachterrasse. Die Strahlung wird durch die vielen Blattschichten eines Waldes stärker abgeschwächt. Bei lückiger Bepflanzung wird der Wert der diffusen Himmelsstrahlung minimiert und somit kommen die Ergebnisse des Modellversuchs an die Angaben von LINNEKAMP (1990) Die Werte 60 % heran. ergaben Ergebnisse von Strahlungsdurchlässigkeit bei einer Steckdichte von ungefähr 40 %.

Möchte man in einem kleinen Fließgewässer eine wirksame Beschattung erzielen, lassen die Ergebnisse der unterschiedlichen Steckweisen des Versuchs darauf schließen, dass eine flächige Steckweise in der Strahlungsbilanz für ein Fließgewässer schlechtere Werte erzielt als eine gleichmäßige Steckweise. Wenn qualitativ hochwertige Beschattung erreicht werden soll, hat man bei der gleichmäßigen Bepflanzung, bei einem gleich großen Bereich und gleichem Pflegeaufwand quantitativ hochwertigere Beschattung als bei flächiger Bepflanzung. Somit kann für die Ausführung von ingenieurbiologischen Bauweisen an kleinen Fließgewässern nur eine gleichmäßige Bepflanzung der Ufer empfohlen werden. Dadurch kann eine ausreichende Beschattung bzw. ein besseres Beschattungspotenzial für Fließgewässer gewährleistet Dies würde die ein werden. täglichen Temperaturschwankungen des Fließgewässers minimieren und somit den Sauerstoffhaushalt positiv beeinflussen. Diese Auswirkungen wären in weiterer Hinsicht positiv für die aquatischen Lebensgemeinschaften.

#### 5 Ausblick

Dies ist die erste Arbeit, die an der Universität für Bodenkultur am IBLB zu diesem Forschungsfeld geschrieben worden ist. Als einführende Arbeit wurde viel Wissenswertes zum Einsatz des Messroboters und zur genaueren Herangehensweise eines solchen Messversuches herausgefunden. Im Laufe der Arbeit wurden neue Ideen besprochen und deren Ausführung in der Praxis diskutiert. Es sollte in Zukunft der Versuch vergleichsweise direkt am Fließgewässer durchgeführt werden. Durch Luftpolster über Wasser gehalten, könnte der Messroboter, direkt an den zu erforschenden Gewässerabschnitten, Profile bemessen und so nähere Einblicke in das Beschattungspotential der Ufervegetation geben. Hier können zur genaueren Bemessung ebenfalls Wasserproben entnommen und Temperaturmessungen durchgeführt werden, um die Ergebnisse zu komplettieren. Somit können die folgenden Arbeiten mit den Ergebnissen dieser Studien verglichen bzw. erweitert werden. Da diese Ergebnisse mit denen im Freiland vergleichbar sind, können zum Beispiel andere Weidenarten, die an Fließgewässern als Ufersicherung dienen, bemessen werden, um weitere Erkenntnisse der Strahlungsdurchlässigkeit zu gewinnen. Zu nennen wären hier die Korbweide (Salix viminalis), die Mandelweide (Salix triandra), die Silberweide (Salix alba), die Bruchweide (Salix fragilis) und die Schwarzweide (Salix myrsinifolia). Weiters wäre es sinnvoll, mehrere Messsensoren am Roboter anzubringen, um genauere Messungen des Bestandes aufnehmen zu können. Es gab kleine Lücken bzw. einzelne Blattpolster, die nicht genau werden konnten. Dadurch könnte Durchschnittswert aufgezeichnet der der Strahlungsintensität bei mehreren Messsensoren genauer berechnet werden.

#### 6 Literaturverzeichnis

BREHM J., (1996); Fließgewässerkunde – Einführung in die Ökologie der Quellen, Bäche und Flüsse. Quelle & Meyer Verlag, Wiesbaden

BREHM J., MEIJERING M.P.D. (1982); Fließgewässerkunde, Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg

BOTTRELL H. H., (1975); The relationship between temperature and duration of egg development in some epiphytic Cladocera and Copepoda from the River Thames, Reading, with a discussion of temperature functions. Oecologia, 18: S. 63-84

DVWK Merkblätter 244/1997; Uferstreifen an Fließgewässern – Funktion, Gestaltung und Pflege, Verlag Paul Parey

DVWK Merkblätter 224/1992; Methoden und ökologische Wirkungen der maschinellen Gewässerunterhaltung; Verlag Paul Parey

ECKEL O., REUTER H., (1950); Zur Berechnung des sommerlichen Wärmeumsatzes in Flußläufen, Geografischen Annalen, S. 188-209

HÄCKEL H., (2005); Meteorologie, 5. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

HOLZAPFEL G., (2010); Beschattung durch Ufervegetation - Modellversuch, Poster der Tagung: Ingenieurbiologische Herausforderungen, Wien

JUNGWIRTH M., HAIDVOGL G., MOOG O., MUHAR S., SCHMUTZ S., (2003); Angewandte Fischökologie an Fließgewässern, Facultas Verlags- Buchhandels AG, Wien

KLOSE B., (2008) Meteorologie: Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

LAMPERT W., SOMMER U., (1999); Limnoökologie, 2. neu bearbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York

LARCHER W., (1994); Ökophysiologie der Pflanzen, 5. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

LARCHER W., (2001); Ökophysiologie der Pflanzen, 6. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

LINNENKAMP J., HOFFMANN M. (1990); Auswirkungen von Reihenpflanzungen auf den ökologischen Zustand eines Flachlandbaches. Wasser und Boden, Heft 2, S. 82-86

REITMAYER H., (2000); Quantifizierung des spektralen Angebotes photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) innerhalb eines Fichten- Buchen-Mischbestandes, Dissertation, Forstwissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan

RICKERT K., (2009); Naturnahe Regelung von Fließgewässern – Wirkungen von Gehölzen an Fließgewässern,12. Überarbeitete Auflage, Studienblätter zum weiterbildenden Studium Wasser und Umwelt, Hannover

SAUBERER F., (1962); Empfehlungen für die Durchführung von Strahlungsmessungen an und in Gewässern, Mitteilungen - Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 11. Ausgabe, E. Schweizerbart'sche Verlag,

SCHWOERBEL J., (1999); Einführung in die Limnologie, 8. vollst. überarbeitete Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

#### 6.1 Internetquellen

CAMPBELL (2010); An Introduction to Campbell Scientific's Table Based Dataloggers &CR-BasicEditor;Hrsg.:CampbellScientific;Quelle:http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=320, Zugriff am 27.11.2010

EMSBRNO (2010); Environmental Measuring Systems; Hrsg. EMS Brno; Quelle: http://www.emsbrno.cz, Zugriff am 10.11.2010

FISCHER (2005); Fischer Produktdatenblatt; Hrsg.: Feingerätebau K. Fischer GmbH; Quelle: http://www.fischer-barometer.de/datenblaetter/D461105.pdf, Zugriff am 14.12.2010

GIGAHERTZ OPTIK (2010); Die Einteilung der optischen Strahlung nach ihrer Wellenlänge; Hrsg.: Gigahertz Optik; Quelle: http://www.gigahertz-optik.de/files/ii\_2.jpg, Zugriff am 19.10.2010

PRÖLL (2005); Wasserqualität der österreichischen Fließgewässer weiter verbessert -Gewässergütekarte 2005 stellt gutes Zeugnis über den Zustand der Fließgewässer in Österreich aus; Hrsg.: Lebensministerium; Quelle: http://presse.lebensministerium.at/articl e/articleview/52210/1/6660/, Zugriff am 25.11.2010

UMWELTBUNDESAMT 1 (2010); Biologische Gewässergüte – Erfreuliche Entwicklung österreichischer Flüsse; Hrsg.: Umweltbundesamt; Quelle: http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasse r/oberfl\_gewaesser/fliessgew/bioguete/, Zugriff am 23.11.2010

UMWELTBUNDESAMT 2 (2010); EU-Wasserrahmenrichtlinie Oberflächengewässer -Für den Bereich Oberflächengewässer sind folgende Grundsätze der WRRL anzuführen; Hrsg.: Umweltbundesamt; Quelle: http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasse r/eu-wrrl/wrrlo/, Zugriff am 23.11.2010

UMWELTBUNDESAMT 3 (2010); Sechster Umweltkontrollbericht – 5. Gewässer in Österreich, 2001; Hrsg.: Umweltbundesamt – Federal Environment Agency – Austria; Quelle: http://www-classic.uni-

graz.at/inmwww/Gew%E4sser\_in\_%D6sterreich.pdf, Zugriff am 22.10.2010

WA 1A (2009); Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Österreich – Indikatoren-Bericht; WA 1a Fließgewässer: Ökologischer und chemischer Zustand; Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Quelle: http://www.nachhaltigkeit.at/filemanager/download/57540, Zugriff am 14.12.2010

WEBGEO (2009); Physikalische Grundlagen der Strahlung ; Hrsg.: Institut für Physische Geographie Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Quelle: www.webgeo.de, Zugriff am 19.10.2009

# 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Spektrum der elektromagnetischen Strahlung und Wellenlängenbereiche
(Quelle: GIGAHERTZ OPTIK 2010) 14 -
Abbildung 2 Spektrale Verteilung der Strahlung beim Durchgang durch die Atmosphäre (Quelle: modifiziert übernommen aus HÄCKEL 2005) 15 -
Abbildung 3 Messung der Sonnenstrahlung (links), Himmelsstrahlung (Mitte) und Globalstrahlung (rechts) (Quelle: modifiziert übernommen aus SAUBERER 1962) 16 -
Abbildung 4 Spektrale Wirkungsfunktion der Photosynthese (Quelle: modifiziert übernommen aus HÄCKEL 2005) 17 -
Abbildung 5 Abhängigkeit bei grünem Laub von Absorption, Reflexion und Transmission (Quelle: modifiziert übernommen aus HÄCKEL 2005) 18 -
Abbildung 6 Strahlungsangebot über und in einem Laubwald in England in Abhängigkeit vom Belaubungszustand (Quelle: modifiziert übernommen aus LARCHER 1994) 19 -
Abbildung 7 Absorptionsspektren von Chloroplastenpigmenten in Lösung (Quelle: REITMAYER 2000) 20 -
Abbildung 8 Solarimeter nach <i>MOLL-GORCYNSKI</i> mit Aufsatz zur Messung der Himmelsstrahlung (Quelle: HÄCKEL 2005) 22 -
Abbildung 9 Funktion und Wirkung des Gehölzbewuchses am Fließgewässer (Quelle: RICKERT 2009) 25 -
Abbildung 10 Schattenwurf eines 10 m hohen Baumes zu zwei verschiedenen Tageszeiten (Quelle: RICKERT 2009) 26 -
Abbildung 11 Tageszeitliche Temperaturänderungen innerhalb von vier Tagen, beginnend von der Quelle (Quelle: modifiziert übernommen aus ECKEL und REUTER 1950) 30 -
Abbildung 12 Absorptionsvermögen von Wasser (Quelle: WEBGEO 2010) 31 -
Abbildung 13 Tagesgang der Wassertemperatur im unbeschatteten und beschatteten
(schwarz) Bereich am 7.7.87 (Quelle: modifiziert übernommen aus LINNENKAMP und

<b>Abbildung 14</b> Tagesgang der Beleuchtungsstärke im unbeschatteten und im beschatteten (schwarz) Bereich am 7.7.87 (Quelle: modifiziert übernommen aus LINNENKAMP und
HOFFMANN 1990))
Abbildung 15 Jahresverlauf der Temperatur in unterschiedlichen Flussabschnitten (Quelle: modifiziert übernommen aus BREHM und MEIJERING1982) 34 -
Abbildung 16 Tagesgang der O2-Sättigung in der gesamten Untersuchungsstrecke am 7.7.87. Angaben in % (Quelle: LINNENKAMP und HOFFMANN 1990) 36 -
Abbildung 17 Eientwicklungszeiten mehrerer Zooplanktonarten in Abhängigkeit von der Temperatur (Quelle: modifiziert übernommen aus BOTTRELL 1975) 40 -
Abbildung 18 Schematische Darstellung des Modellversuchs 42 -
Abbildung 19 Modellaufbau, Schwackhöferhaus, Terasse im 3. Stock, am 30.6.2010 - 43 -
<b>Abbildung 20</b> <i>Gleichmäβige</i> und <i>flächige</i> Entnahme der Weidenruten aus dem Stecktisch. grüne Punkte = entnommene Weiden 44 -
Abbildung 21 Stecktisch mit Weidenruten und dem mit Wasser gefüllten Behälter, am 30.6.201046 -
Abbildung 22 Schematische Darstellung der Steckweisen: flächige Steckweise (oben), gleichmäßige Steckweise (unten) (Quelle: HOLZAPFEL 2010) 47 -
Abbildung 23 Messroboter: Schematische Skizze 49 -
Abbildung 24 PAR- Sensor (Quelle: EMSBRNO 2010) 49 -
Abbildung 25 Globalsensor (Quelle: EMSBRNO 2010) 50 -
Abbildung 26 Messensoren am Messroboter, 30.6.2010 51 -
Abbildung 27 CR 1000 Datenlogger (Quelle: CAMPBELL 2010) 51 -
Abbildung 28 Sonnenhöchststände bei unterschiedlichen Tageszeiten für den 30.6 2.7.2010 und Mindestabstände der Sensoren um 11:00 Uhr
Abbildung 29 Aufnahmetisch mit Weidenrute und Skala, Rute 45 am 30.6.2010 53 -

Abbildung 30 Bearbeitung der Blätter mittels Photoshop; Toleranz 50 (links); Toleranz 100 (rechts), am 5.10.2010
Abbildung 31 Vergleich Holztrockengewicht zu Blatttrockengewicht aller drei Messtage im Durchschnitt
Abbildung 32 Zusammenhang Holztrockengewicht zu Blatttrockengewicht aller drei Messtage
Abbildung 33 Weidenruten Nummer 32 (links) und Nummer 40 (rechts), vom 30.6.2010 58 -
Abbildung 34 Zusammenhang des Durchmessers an der Basis (H1) und des Blatttrockengewichtes der Weidenruten aller drei Messtage im Durchschnitt
Abbildung 35 Blatttrockengewicht in den unterschiedlichen Höhenabschnitten aller drei Messtage im Durchschnitt
Abbildung 36 Gesamtstrahlung der Fläche am 2.7.2010 bei <i>flächiger</i> und <i>gleichmäßiger</i> Steckweise
Abbildung 37 Gesamtstrahlung der Fläche am 1.7.2010 bei <i>flächiger</i> und <i>gleichmäßiger</i> Steckweise
Abbildung 38 Gesamtstrahlung der Fläche am 30.6.2010 bei <i>flächiger</i> und <i>gleichmäßiger</i> Steckweise
Abbildung 39 Gesamtstrahlung der Fläche aller drei Messtage bei <i>flächiger</i> und <i>gleichmäßiger</i> Steckweise63 -
Abbildung 40 PAR - Sensoren bei 80%, 50% und 20% gleichmäßiger Steckweise am 2.7.201065 -
Abbildung 41 Verhältnis Blattfläche zu den gesteckten Prozenten für beide Steckweisen am Stecktisch
Abbildung 42 Dichte der Weiden bei 80 %, 50% und 20% der <i>gleichmäβigen</i> Steckweise aller drei Messtage

Abbildung 43	Zusammenhang	der	Blattfläche	zu	der	Strahlungsintensität	bei	einer
Steckdichte vor	n 80 %, 50 % und	20 %	6					- 70 -

**Abbildung 45** Mittelwert der Messtage bei einer *gleichmäβigen* Steckdichte von 20%; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)...... - 72 -

Abbildung 46 Mittelwert der Messtage bei einer *flächigen* Steckdichte von 20 %; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)...... - 72 -

Abbildung 47 Mittelwert der Messtage bei einer *gleichmäßigen* Steckdichte von 50 %; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)...... - 73 -

Abbildung 48 Mittelwert der Messtage bei einer *flächigen* Steckdichte von 50 %; Surfergrafik (links), Vegetationsaufnahmen nach Höhenpartien (rechts)...... - 73 -

## Anhang 1: Messprotokolle Modelversuch

## Strahlungsintensitätsmessungen - Modellversuch

Datum: <u>30.6.2010</u>

						Foto	Foto		
Nr.	Nr.	Libura it	Bedeckung	gleich-	flächig	V.	V.	Fisheria	Demerluingen
Tag	Campen	Unrzeit	10 %	maisig	паспів	vorne	nedo	Fisheye	Bemerkungen
1	4								PROBE
2	5	11:38	100						PLATTE
3	6	11:40	100	Х	Х	1	3	208-220	
4	7	12:00	90	Х		4			
5	8	12:03	90	х		4		222-233	Wind
6	9	12:14	80	х					
7	10	12:23	80	х		5		235-246	
8	11	12:25	70	х		6		248-259	
9	12	12:31	60	х		х		261-272	
10	13	12:39	50	х		х		274-285	
11	14	12:46	40	х		х		287-298	
12	15	12:51	30	х		х		300-311	
13	16	12:58	20	х		х		313-324	
14	17	13:06	10	х		х		326-337	
15	18	13:08	10	х		х			
16	19	13:23	90		х	х		339-350	
17	20	13:25	90		х	х			kl. Wolke
18	21	13:35	80		х	х		352-363	
19	22	13:36	80		х	х			
20	23	13:43	70		х	х		365-376	
21	24	13:45	70		Х	х			
22	25	13:53	60		Х	Х		378-389	
23	26	13:55	60		Х	х			
24	27	14:01	50		х	х		391-402	
25	28	14:03	50		X	Х			???
25	28	14:08	40		Х	Х		404-415	
26	29	14:10	40		Х	Х			
27	30	14:18	40		х	Х		417-428	

28	31	14:20	30	х	х		
29	32	14:23	20	Х	Х	430-441	
30	33	14:25	20	х	Х		Wind
31	34	14:30	10	Х	х	493-454	
32	35	14:32	10	Х	Х		

## Strahlungsintensitätsmessungen - Modellversuch

Datum: <u>1.7.2010</u>

						Foto	Foto		
Nr.	Nr.		Bedeckung	gleich-		v.	ν.		
Tag	Campell	Uhrzeit	in %	mäßig	flächig	vorne	oben	Fisheye	Bemerkungen
1	1	09:19							PROBE
									PROBE
2	2	09:27							PROBE
3	3	10:22							PROBE
4	4	11:00	100			1			PLATTE
5	5	11:02	100			1		209-220	PLATTE
6	6	11:15	100	Х	Х	2		222-233	
7	7	11:17	100	Х	Х	2			
8	8	11:25	90	Х		Х		235-246	
9	9	11:28	90	Х		Х			
10	10	11:37	80	Х		Х		248-259	
11	11	11:39	80	Х		Х			
12	12	12:02	70	Х		Х		261-272	
									???
17	17	12:04	70	Х		Х			
18	18	12:31	60	Х		Х		274-285	
19	19	12:33	60	х		Х			
20	20	12:40	50	х		Х		287-298	
21	21	12:42	50	Х		Х			
22	22	1248	40	х		Х		300-311	
23	23	12:50	40	Х		Х			
24	24	12:59	30	Х		Х		313-324	
25	25	13:01	30	х		Х			runtergefahren
26	26								???
27	27								???
28	28	13:14	20	Х		Х		326-337	
29	29	13:16	20	Х		Х			
30	30	13:24	10	х		Х		339-350	
31	31	13:26	10	Х		Х			Wolke

32	32	13:47	90	х	Х	352-363	
33	33	13:49	90	Х	Х		
34	34	13:58	80	Х	Х	365-376	
35	35	13:59	80	Х	Х		
36	36	14:07	70	Х	Х	378-389	
37	37	14:09	70	Х	Х		
38	38	14:15	60	Х	Х	391-402	
39	39	14:17	60	Х	Х		
40	40	14:23	50	Х	Х	404-415	
41	41	14:25	50	Х	Х		
42	42	14:30	40	Х	Х	417-428	
43	43	14:32	40	Х	Х		
							Äste
44	44	14:39	30	Х	Х	430-441	rübergehangen
45	45	14:41	30	Х	Х		
46	46	14:48	20	Х	Х	443-454	
47	47	14:50	20	Х	Х		
48	48	14:56	10	Х	Х	456-467	
49	49	14:58	10	Х	Х		

#### Strahlungsintensitätsmessungen - Modellversuch

Datum: 2.7.2010

Nr. Tag	Nr. Campell	Uhrzeit	Bedeckung in %	gleich- mäßig	flächig	Foto v. vorne	Foto v. oben	Fisheye	Bemerkungen
1	1								PROBE
2	2								PROBE
3	3								PROBE
4	4	11:08							PROBE
5	5	11:15	100	x	х	Х		209-220	PLATTE
6	6	11:17	100	х	х	Х			PLATTE
7	7	11:21	100	x	х	Х		222-233	
8	8	11:23	100	x	x	Х			
9	9	11:29	90	X		Х		235-246	
10	10	11:31	90	X		Х			
11	11	11:36	80	x		Х		248-259	
12	12	11:38	80	x		Х			
13	13	11:44	70	х		Х		261-272	
14	14	11:46	70	x		Х			
15	15	11:51	60	Х		Х		274-285	

16	16	11:53	60	Х		х		
17	17	11:58	50	х		Х	287-298	
18	18	12:00	50	Х		Х		2x???
19	19	12:03	40	Х		Х	300-311	
20	20	12:05	40	х		Х		
21	21	12:08	50	Х			287-298	Wiederholung
22	22	12:10	50	х				Wiederholung
23	23	12:16	30	х		Х	313-324	
24	24	12:18	30	х		Х		
25	25	12:23	20	Х		Х	326-337	
26	26	12:25	20	х		Х		
27	27	12:30	10	х		Х	339-350	
28	28	12:32	10	Х		Х		
29	29	12:48	90		х	Х	352-363	
30	30	12:50	90		х	Х		
31	31	12:57	80		х	Х	365-376	
32	32	12:59	80		х	Х		
33	33	13:04	70		х	Х	378-389	
34	34	13:06	70		х	Х		
35	35	13:11	60		х	Х	391-402	
36	36	13:13	60		х	Х		
37	37	13:18	50		х	Х	404-415	
38	38	13:20	50		х	Х		
39	39	13:25	40		х	Х	417-428	
40	40	13:27	40		х	Х		
41	41	13:33	30		х	Х	430-441	
42	42	13:35	30		х	Х		
43	43	13:41	20		х	Х	443-454	
44	44	13:43	20		Х	Х		Wolke
45	45	13:45	20		X	Х		Wolke
46	46	13:48	20		х	Х		
47	47	13:50	10		х	Х	456-467	
48	48	13:57	10		Х	Х		Wolke
49	49	14:10	10		х	Х		

# Anhang 2: Messprotokolle der Weidenruten

#### Vegetationsaufnahmen Einzelruten

Datum: 30.6.2010

			1. Ast					<i></i>	<i>d</i>	<i>d</i>	<i>d</i>
Rute	Steck-	Eotopr	in cm Höhe	Verzw. 1 (Rute)	Vorzw 2	Vorzw 3	Vorzw A	ØH1	ØH2	ØH3	ØH4 in cm
1	platz	215	29	1	21	12	0	1 00	0.85	0.70	0.30
2		213	18	0	21	4	0	0.90	0.80	0.60	0.30
3		256	22	0	18	3	0	1.00	0.80	0.60	0.20
4		254	45	0	20	10	0	0.90	0.80	0.60	0.30
5		210	14	1	17	29	1	1,00	0,95	0,70	0,40
6		246	27	0	9	5	0	0,90	0,70	0,40	0,20
7		248	15	0	15	4	0	0,90	0,75	0,65	0,30
8		245	17,5	0	14	8	0	0,80	0,70	0,50	0,30
9		244	23	2	7	2	0	0,90	0,80	0,35	0,15
10		241	27,5	0	14	4	0	0,80	0,70	0,60	0,20
11		250	32	0	10	3	0	0,90	0,65	0,50	0,40
12		252	32	0	13	6	1	0,95	0,80	0,60	0,30
13		236	15	0	14	7	0	0,90	0,70	0,40	0,25
14		227	15	0	11	17	0	1,00	0,80	0,50	0,30
15		230	30	0	13	9	0	1,00	1,00	0,80	0,50
16		233	7	0	15	2	0	0,85	0,70	0,50	0,40
17		223	33	1	14	4	0	0,90	0,80	0,50	0,20
18		231	15	0	10	5	0	0,90	0,80	0,55	0,40
19		228	3	0	14	8	0	0,75	0,65	0,50	0,30
20		226	37	0	11	6	0	0,90	0,80	0,40	0,25
21		222	10	1	28	5	0	0,80	0,70	0,50	0,30
22		217	2	2	20	10	0	1,00	0,90	0,50	0,40
23		212	32	1	18	4	3	0,95	0,90	0,40	0,20
24		213	31	0	12	7	0	1,00	0,85	0,60	0,25
25		253	37,5	1	19	9	1	0,80	0,80	0,70	0,40
26		216	11	0	16	5	0	0,90	0,80	0,60	0,45
27		255	17,5	0	4	0	0	0,70	0,60	0,50	0,40
28		249	40	0	17	2	0	0,80	0,70	0,55	0,30
29		243	36	0	10	11	0	0,80	0,70	0,40	0,40
30		251	7,5	0	18	17	0	0,90	0,80	0,60	0,35
31		247	25	0	25	6	0	0,80	0,70	0,60	0,30
32		240	45	0	16	2	0	0,80	0,70	0,55	0,40
33		238	25	0	14	17	3	1,05	0,90	0,40	0,20
34		235	8	0	22	2	0	0,70	0,70	0,55	0,30
35		237	16	0	17	5	0	0,90	0,80	0,50	0,30

1				1	1	1	1		1	
36	242	17,5	0	17	9	0	0,90	0,80	0,70	0,30
37	239	35	0	18	5	1	0,90	0,70	0,60	0,40
38	219	44	0	18	18	4	0,80	0,80	0,50	0,40
39	232	45	1	6	0	0	0,90	0,70	0,40	0,30
40	234	1	0	14	17	3	1,10	0,70	0,50	0,20
41	218	11,5	0	17	19	0	0,90	0,70	0,30	0,20
42	229	10	1	19	18	2	0,90	0,85	0,60	0,30
43	224	10	0	26	9	0	0,90	0,80	0,60	0,20
44	225	46	0	7	11	2	1,00	0,90	0,50	0,30
45	221	22	0	25	2	0	0,80	0,80	0,60	0,30
46	220	16	0	16	16	0	1,05	0,80	0,60	0,35
47	211	18	1	22	8	0	0,95	0,90	0,50	0,30

			g Trochengewicht								
Rute Nr.	Holz	H1	H2	Н3	H4	Gesamt					
1	42,630	0,126	2,200	8,132	10,544	21,002					
2	38,760	0,223	2,834	9,262	9,640	21,959					
3	45,858	0,130	4,471	5,880	9,903	20,384					
4	29,075	0,000	0,360	4,454	7,610	12,424					
5	54,263	1,014	4,535	13,766	6,741	26,056					
6	30,418	0,230	3,080	7,912	3,872	15,094					
7	37,812	0,945	4,068	9,643	5,718	20,374					
8	32,902	0,532	8,056	8,106	3,126	19,820					
9	44,859	0,332	4,780	12,350	6,214	23,676					
10	29,356	0,154	3,312	7,528	6,680	17,674					
11	30,282	0,074	4,984	6,280	6,740	18,078					
12	42,182	0,000	5,111	8,195	7,584	20,890					
13	38,277	0,690	3,686	9,732	5,336	19,444					
14	50,884	0,000	5,756	9,350	7,707	22,813					
15	59,980	0,000	3,637	7,138	17,551	28,326					
16	36,616	3,797	5,360	7,534	4,851	21,542					
17	37,755	0,000	3,362	9,313	8,374	21,049					
18	35,821	0,595	2,265	10,483	6,908	20,251					
19	22,568	0,225	2,017	3,734	4,206	10,182					
20	36,758	0,000	1,935	8,734	6,120	16,789					
21	30,879	0,466	2,563	6,082	6,813	15,924					
22	46,530	1,130	4,009	8,718	8,650	22,507					
23	45,208	0,029	4,294	13,389	5,721	23,433					

24	50,288	0,000	2,819	12,040	9,030	23,889
25	40,882	0,000	1,555	5,790	10,455	17,800
26	39,960	0,662	4,175	11,333	7,718	23,888
27	22,854	0,468	0,907	4,364	4,988	10,727
28	23,383	0,000	2,331	5,515	4,112	11,958
29	29,781	0,000	5,600	5,099	4,946	15,645
30	41,876	0,155	5,852	6,981	9,316	22,304
31	32,711	0,217	3,409	6,869	5,955	16,450
32	23,106	23,106 0,048		2,058	6,066	8,660
33	47,559	0,554	6,828	16,256	5,636	29,274
34	28,495	0,133	2,177	2,177 3,241		14,636
35	36,508	0,484	2,974	7,812	7,510	18,780
36	36,430	0,446	4,555	5,042	9,780	19,823
37	33,914	0,000	1,497	4,000	7,476	12,973
38	44,942	2,595	1,368	11,432	6,420	21,815
39	27,095	0,000	0,751	2,880	6,744	10,375
40	41,657	1,054	13,974	8,640	2,780	26,448
41	39,334	0,695	8,200	10,009	3,136	22,040
42	42,292	1,166	2,417	9,535	6,744	19,862
43	36,930 1,076		6,983	7,204	3,801	19,064
44	49,214 0,000		3,209	13,035	8,209	24,453
45	32,300	0,164	1,862	7,038	8,332	17,396
46	43,663	0,000	5,883	9,660	5,831	21,374
47	48,105	0,062	4,176	20,254	3,556	28,048

			cm²		
Rute Nr.	H1	H2	Н3	H4	Gesamt
1	19,945	317,042	1039,026	1160,367	2640,37144
2	35,299	408,408	1183,406	1060,882	2760,68548
3	20,578	644,316	751,288	1089,825	2562,67648
4	0,000	51,880	569,088	837,481	1561,94528
5	160,506	653,539	1758,882	741,847	3275,76032
6	36,407	443,859	1010,916	426,114	1897,61768
7	149,584	586,239	1232,086	629,266	2561,41928
8	84,210	1160,950	1035,704	344,016	2491,7704
9	52,552	688,846	1577,960	683,851	2976,54672
10	24,377	477,292	961,853	735,134	2221,97528
11	11,713	718,244	802,396	741,737	2272,76616

12	0,000	736,546	1047,075	834,619	2626,2908
13	109,220	531,189	1243,458	587,227	2444,49968
14	0,000	829,497	1194,650	848,155	2868,05036
15	0,000	524,128	912,022	1931,488	3561,14472
16	601,027	772,430	962,619	533,853	2708,26024
17	0,000	484,498	1189,922	921,559	2646,28028
18	94,183	326,409	1339,413	760,225	2545,95572
19	35,615	290,670	477,093	462,870	1280,08104
20	0,000	278,853	1115,943	673,506	2110,71308
21	73,763	369,354	777,097	749,771	2001,96528
22	178,868	577,737	1113,899	951,933	2829,58004
23	4,590	618,808	1710,713	629,596	2945,99676
24	0,000	406,246	1538,351	993,752	3003,32508
25	0,000	224,091	739,788	1150,573	2237,816
26	104,788	601,659	1448,017	849,366	3003,19936
27	74,080	130,708	557,588	548,929	1348,59844
28	0,000	335,920	704,652	452,526	1503,35976
29	0,000	807,016	651,499	544,307	1966,8894
30	24,535	843,332	891,962	1025,226	2804,05888
31	34,349	491,271	877,652	655,348	2068,094
32	7,598	70,326	262,951	667,563	1088,7352
33	87,693	983,983	2077,029	620,242	3680,32728
34	21,053	313,727	414,103	999,804	1840,03792
35	76,612	428,583	998,139	826,476	2361,0216
36	70,597	656,421	644,216	1076,289	2492,14756
37	0,000	215,733	511,080	822,734	1630,96556
38	410,763	197,142	1460,667	706,521	2742,5818
39	0,000	108,227	367,978	742,177	1304,345
40	166,838	2013,793	1103,933	305,939	3325,04256
41	110,012	1181,702	1278,850	345,117	2770,8688
42	184,566	348,314	1218,287	742,177	2497,05064
43	170,320	1006,320	920,455	418,300	2396,72608
44	0,000	462,449	1665,482	903,400	3074,23116
45	25,960	268,333	899,245	916,937	2187,02512
46	0,000	847,799	1234,258	641,702	2687,13928
47	9,814	601,803	2587,854	391,338	3526,19456

#### Vegetationsaufnahmen Einzelruten

Datum: 1.7.2010

			1. Ast	Verzw.							
Rute	Steck-		in cm	1				Ø H1	ØH2	Ø Н3	Ø H4
Nr.	platz	Fotonr.	Höhe	(Rute)	Verzw. 2	Verzw. 3	Verzw. 4	in cm	in cm	in cm	in cm
1		297	22	0	9	5	0	0,90	0,80	0,60	0,30
2		258	7,5	0	5	3	0	0,90	0,70	0,60	0,20
3		286	85	1	7	9	0	0,80	0,70	0,60	0,30
4		261	30	0	16	8	0	0,80	0,60	0,40	0,20
5		298	10	0	13	9	0	0,90	0,80	0,50	0,30
6		265	55	0	20	1	0	0,80	0,70	0,40	0,20
7		287	10	0	14	10	3	0,80	0,75	0,40	0,35
8		266	48,5	0	9	3	0	0,70	0,50	0,40	0,20
9		272	48,5	0	11	1	0	0,85	0,60	0,40	0,20
10		301	22	0	16	7	2	0,90	0,80	0,60	0,45
11		285	12,5	0	14	7	5	0,90	0,80	0,50	0,20
12		270	11,5	0	5	3	0	0,85	0,60	0,50	0,20
13		288	7,5	0	16	9	0	0,90	0,80	0,60	0,25
14		289	45	0	11	6	0	0,80	0,70	0,50	0,15
15		302	30	0	8	2	0	0,75	0,70	0,40	0,20
16		300	20	0	7	7	0	0,85	0,65	0,50	0,20
17		303	60	0	9	2	0	0,70	0,60	0,40	0,20
18		294	37	0	7	6	0	0,80	0,70	0,45	0,20
19		296	40	0	7	5	0	0,90	0,70	0,50	0,25
20		269	30	0	16	5	0	0,85	0,70	0,50	0,20
21		290	40	0	8	2	0	0,70	0,60	0,45	0,20
22		291	30	0	15	6	0	0,80	0,70	0,60	0,30
23		268	61,5	0	7	5	0	0,90	0,80	0,40	0,20
24		277	17,5	0	8	3	1	0,80	0,70	0,40	0,20
25		263	23,5	0	11	4	0	0,80	0,70	0,60	0,15
26		276	57,5	0	15	4	0	0,80	0,70	0,60	0,40
27		262	5	0	7	5	0	0,85	0,70	0,50	0,20
28		264	22,5	0	12	7	0	0,70	0,60	0,40	0,20
29		283	39	0	18	4	0	0,70	0,60	0,50	0,30
30		282	5	0	14	6	1	0,90	0,80	0,60	0,25
31		267	0,5	0	3	7	2	0,90	0,80	0,60	0,30
32		284	27	1	11	7	1	0,90	0,80	0,60	0,25
33		274	10	1	15	8	0	0,90	0,70	0,60	0,50
34		273	35	0	9	14	0	0,60	0,60	0,60	0,10
35		275	52	1	14	4	0	0,90	0,90	0,40	0,40
36		271	35	0	8	3	0	0,85	0,70	0,50	0,20
37		299	12,5	0	9	5	0	0,90	0,70	0,50	0,20

38	278	32,5	0	25	5	0	0,70	0,60	0,60	0,30
39	304	25	1	9	9	2	1,00	0,70	0,50	0,20
40	305	40	0	10	7	1	0,90	0,85	0,65	0,30
41	279	70,5	0	5	5	0	0,80	0,70	0,60	0,40
42	293	12,5	0	15	5	0	0,90	0,70	0,40	0,20
43	281	37,5	0	11	11	3	0,80	0,70	0,50	0,30
44	295	52	0	6	3	0	0,70	0,60	0,35	0,20
45	292	2,5	0	22	20	1	0,90	0,80	0,60	0,20
46	280	42,5	0	7	1	0	0,95	0,80	0,65	0,30
47	306	47	0	10	9	0	0,90	0,80	0,40	0,20

			g Trochengewicht									
Rute Nr.	Holz	H1	H2	НЗ	H4	Gesamt						
1	34,693	0,000	0,551	4,840	5,391	10,782						
2	31,737	0,071	7,268	9,067	3,561	19,967						
3	30,566	0,000	0,000	2,096	9,574	11,670						
4	32,888	0,000	1,090	7,973	7,273	16,336						
5	49,520	0,776	4,635	7,703	12,200	25,314						
6	21,805	0,042	0,650	3,240	5,474	9,406						
7	44,020	0,990	3,737	13,348	5,169	23,244						
8	25,785	0,000	0,457	5,056	5,943	11,456						
9	20,105	0,000	3,163	3,730	0,352	7,245						
10	39,540	0,449	3,639	7,462	8,152	19,702						
11	42,996	0,784	8,490	11,378	5,322	25,974						
12	24,350	1,046	3,237	5,917	3,356	13,556						
13	51,858	1,321	4,708	10,511	10,023	26,563						
14	30,342	0,000	0,000	2,872	5,569	8,441						
15	23,340	0,238	2,785	8,182	2,266	13,471						
16	32,557	0,000	3,244	10,175	3,249	16,668						
17	16,853	0,000	0,578	2,125	3,488	6,191						
18	20,164	0,000	1,310	7,299	2,496	11,105						
19	27,882	0,000	2,557	7,633	3,298	13,488						
20	28,318	0,045	4,691	8,801	3,727	17,264						
21	19,807	0,015	0,703	3,883	3,114	7,715						
22	30,450	0,000	3,945	8,028	4,626	16,599						
23	34,700	0,000	0,025	8,952	6,844	15,821						
24	28,374	0,038	1,119	5,385	6,222	12,764						
25	41,963	0,108	3,026	8,288	9,970	21,392						
26	30,540	0,000	0,705	2,037	8,736	11,478						

27	34,310 1,1		4,120	11,583	2,810	19,672
28	57,399	0,000	2,555	12,212	10,918	25,685
29	23,860	0,000	1,333	3,275	6,663	11,271
30	41,254	1,727	1,776	15,995	5,009	24,507
31	51,870	2,280	1,565	13,607	8,518	25,970
32	39,937	0,357	5,115	10,897	4,578	20,947
33	42,542 2,153		8,772	10,920	5,566	27,411
34	42,600 0,000		2,516	9,676	10,412	22,604
35	39,508	0,000	1,091	11,303	5,580	17,974
36	23,224	0,000	1,516	6,048	2,258	9,822
37	36,767	0,376	3,346	5,782	7,112	16,616
38	28,832	0,000	2,454	3,642	8,347	14,443
39	45,051	0,000	8,252	9,941	6,359	24,552
40	46,288	0,000	1,879	4,408	13,247	19,534
41	21,304	0,000	0,000	2,563	4,624	7,187
42	33,476	1,007	7,157	7,848	3,518	19,530
43	24,035 0,000		0,660	3,420	5,017	9,097
44	26,380 0,000		6,195	6,092	2,291	14,578
45	47,085	0,477	7,709	13,398	5,192	26,776
46	33,370	0,000	0,551	4,007	7,024	11,582
47	30,953	0,000	0,413	7,201	3,228	10,842

			cm²		
Rute Nr.	H1	H2	Н3	H4	Gesamt
1	0	79,40461	618,4068	593,27955	1355,51304
2	11,23859	1047,39148	1158,49059	391,88805	2510,25124
3	0	0	267,80592	1053,6187	1467,1524
4	0	157,0799	1018,71021	800,39365	2053,76192
5	122,83304	667,94985	984,21231	1342,61	3182,47608
6	6,64818	93,6715	413,9748	602,4137	1182,52232
7	156,7071	538,53907	1705,47396	568,84845	2922,23568
8	0	65,85827	646,00512	654,02715	1440,24832
9	0	455,81993	476,5821	38,7376	910,8414
10	71,07221	524,41629	953,41974	897,1276	2476,93544
11	124,09936	1223,4939	1453,76706	585,6861	3265,45128
12	165,57134	466,48407	756,01509	369,3278	1704,26032
13	209,10109	678,46988	1342,99047	1103,03115	3339,50036
14	0	0	366,95544	612,86845	1061,20252
15	37,67302	401,34635	1045,41414	249,3733	1693,57412

16	0	467,49284	1300,05975	357,55245	2095,50096
17	0	83,29558	271,51125	383,8544	778,33252
18	0	188,7841	932,59323	274,6848	1396,1206
19	0	368,48927	975,26841	362,9449	1695,71136
20	7,12305	676,02001	1124,50377	410,15635	2170,43008
21	2,37435	101,30933	496,13091	342,6957	969,9298
22	0	568,51395	1025,73756	509,0913	2086,82628
23	0	3,60275	1143,79704	753,1822	1989,01612
24	6,01502	161,25909	688,04145	684,7311	1604,69008
25	17,09532	436,07686	1058,95776	1097,1985	2689,40224
26	0	101,59755	260,26749	961,3968	1443,01416
27	183,45811	593,7332	1479,95991	309,2405	2473,16384
28	0	368,20105	1560,32724	1201,5259	3229,1182
29	0	192,09863	418,44675	733,26315	1416,99012
30	273,36683	255,93936	2043,68115	551,24045	3081,02004
31	360,9012	225,53215	1738,56639	937,4059	3264,9484
32	56,50953	737,12265	1392,30969	503,8089	2633,45684
33	340,79837	1264,13292	1395,2484	612,5383	3446,11092
34	0	362,58076	1236,30252	1145,8406	2841,77488
35	0	157,22401	1444,18431	614,079	2259,69128
36	0	218,47076	772,75296	248,4929	1234,82184
37	59,51704	482,19206	738,76614	782,6756	2088,96352
38	0	353,64594	465,33834	918,58735	1815,77396
39	0	1189,19572	1270,16157	699,80795	3086,67744
40	0	270,78269	563,21016	1457,83235	2455,81448
41	0	0	327,47451	508,8712	903,54964
42	159,39803	1031,39527	1002,73896	387,1559	2455,3116
43	0	95,1126	436,9734	552,12085	1143,67484
44	0	892,76145	778,37484	252,12455	1832,74616
45	75,50433	1110,94399	1711,86246	571,3796	3366,27872
46	0	79,40461	511,97439	772,9912	1456,08904
47	0	59,51743	920,07177	355,2414	1363,05624

#### Vegetationsaufnahmen Einzelruten

Datum: 2.7.2010

				Verzw.							
Rute	Steck-	-	1. Ast in	1				Ø H1	Ø H2	Ø H3	Ø H4
Nr.	platz	Fotonr.	cm Höhe	(Rute)	Verzw. 2	Verzw. 3	Verzw. 4	in cm	in cm	in cm	in cm
1		323	20	1	11	0	0	0,80	0,70	0,50	0,30
2		321	4	0	17	6	0	0,90	0,75	0,60	0,30
3		324	3	0	22	7	0	1,00	0,80	0,60	0,40
4		322	57,5	0	11	5	1	0,85	0,75	0,60	0,30
5		320	7,5	1	10	0	0	0,90	0,80	0,55	0,25
6		331	35	0	11	3	0	0,90	0,80	0,60	0,25
7		346	13	0	14	3	0	0,85	0,70	0,50	0,25
8		347	10	0	16	2	0	0,85	0,70	0,60	0,40
9		329	10	0	16	7	0	1,00	0,85	0,70	0,40
10		326	27,5	0	10	2	0	0,80	0,70	0,50	0,15
11		333	27	0	11	1	0	0,90	0,80	0,50	0,30
12		343	21	0	17	4	0	0,80	0,70	0,40	0,30
13		341	25	0	13	4	0	0,90	0,80	0,60	0,30
14		339	31	0	10	1	0	0,90	0,80	0,70	0,35
15		348	15	0	14	5	0	0,90	0,70	0,60	0,40
16		355	14,5	0	17	8	0	0,80	0,70	0,60	0,30
17		344	40	0	11	2	0	0,90	0,75	0,60	0,35
18		332	12,5	0	8	8	0	0,90	0,60	0,40	0,20
19		338	2,5	0	10	30	4	1,00	0,80	0,55	0,20
20		334	15	0	14	1	0	0,95	0,85	0,50	0,30
21		335	40	0	14	3	0	0,80	0,70	0,60	0,20
22		336	12,5	0	16	13	1	1,00	0,75	0,60	0,20
23		352	12,5	1	10	2	0	0,95	0,70	0,50	0,30
24		353	21	0	5	8	0	0,90	0,70	0,40	0,30
25		328	20	0	12	4	0	1,00	0,90	0,45	0,30
26		318	28	0	14	12	0	0,85	0,65	0,50	0,30
27		325	22,5	0	20	7	0	0,90	0,70	0,60	0,20
28		319	10	0	19	7	0	0,90	0,80	0,50	0,35
29		327	22,5	1	10	3	0	0,95	0,80	0,60	0,25
30		316	15	1	18	2	1	0,90	0,60	0,50	0,30
31		317	10	0	21	3	0	0,90	0,90	0,65	0,30
32		340	27,5	0	11	9	1	0,90	0,80	0,50	0,20
33		314	10	0	22	4	0	0,90	0,80	0,70	0,20
34		315	27,5	0	13	3	0	0,85	0,80	0,50	0,30
35		345	7,5	0	16	5	0	0,90	0,75	0,55	0,30
36		342	32,5	0	6	8	0	0,80	0,50	0,40	0,20
37		349	40	0	10	2	1	0,80	0,70	0,50	0,30

38	356	2,5	0	26	4	0	1,00	0,90	0,50	0,20
39	350	7,5	0	8	1	0	0,70	0,60	0,55	0,25
40	341	22,5	0	20	6	0	0,80	0,70	0,60	0,30
41	330	35	0	11	3	0	0,90	0,75	0,65	0,35
42	311	53	0	11	2	0	0,80	0,70	0,50	0,30
43	310	7,5	0	16	7	1	0,90	0,80	0,50	0,40
44	312	55	0	15	6	0	0,75	0,70	0,60	0,30
45	313	20	1	13	8	0	0,90	0,70	0,60	0,30
46	337	37,5	0	17	4	0	1,00	0,80	0,70	0,35
47	354	7,5	1	18	4	0	0,80	0,60	0,50	0,30

		g Trochengewicht					
Rute Nr.	Holz	H1	H2	H3	H4	Gesamt	
1	33,705	1,205	5,436	8,880	5,598	21,119	
2	34,990	0,000	6,653	2,188	8,976	17,817	
3	48,216	1,040	3,657	6,988	11,191	22,876	
4	35,980	0,000	0,904	5,088	10,268	16,260	
5	43,630	0,663	3,030	10,746	9,002	23,441	
6	40,443	0,012	3,289	5,694	9,520	18,515	
7	29,580	0,062	0,734	3,673	6,160	10,629	
8	35,041	2,051	3,195	2,516	9,269	17,031	
9	50,893	1,669	3,676	10,718	13,664	29,727	
10	29,173	0,188	2,153	5,504	5,800	13,645	
11	44,016	0,000	4,581	8,324	8,995	21,900	
12	30,240	0,775	3,044	8,134	3,809	15,762	
13	28,081	0,000	2,178	5,373	8,303	15,854	
14	46,574	0,000	3,631	9,455	11,430	24,516	
15	44,145	0,826	7,740	6,395	8,894	23,855	
16	34,807	0,359	2,977	5,031	6,760	15,127	
17	36,411	0,000	2,682	4,203	8,973	15,858	
18	35,445	0,247	6,276	5,567	5,097	17,187	
19	45,198	0,000	0,794	4,073	8,429	13,296	
20	51,731	0,350	2,591	6,162	17,276	26,379	
21	33,306	0,000	2,096	4,002	10,720	16,818	
22	40,020	0,367	4,133	3,490	10,995	18,985	
23	46,880	0,085	5,939	9,670	9,902	25,596	
24	47,190	0,000	5,727	7,081	11,342	24,150	
25	56,464	0,360	3,944	10,002	13,459	27,765	
26	37,301	0,000	6,453	6,699	6,281	19,433	

27	33,664	0,394	3,720	4,230	7,402	15,746
28	44,680	0,826	4,792	9,028	8,353	22,999
29	39,706	0,300	2,203	7,720	8,221	18,444
30	45,942	0,000	2,913	9,041	10,339	22,293
31	46,986	1,156	2,817	6,911	11,878	22,762
32	39,554	0,154	3,800	10,621	6,335	20,910
33	41,703	0,641	6,621	14,293	5,587	27,142
34	42,520	0,038	1,908	7,062	10,466	19,474
35	36,644	0,134	3,875	3,471	7,696	15,176
36	29,419	0,000	5,475	6,750	4,505	16,730
37	34,622	0,000	2,486	6,499	6,443	15,428
38	53,239	2,209	6,127	14,869	7,609	30,814
39	29,783	1,587	6,012	2,843	6,604	17,046
40	33,211	0,749	2,535	6,642	8,531	18,457
41	27,000	0,000	1,886	7,131	9,494	18,511
42	26,778	0,000	0,759	2,691	7,422	10,872
43	37,781	1,755	4,395	9,632	4,708	20,490
44	28,986	0,000	1,161	2,624	7,049	10,834
45	44,897	0,000	3,968	6,521	9,100	19,589
46	45,914	0,000	1,863	4,281	14,967	21,111
47	33,670	1,066	5,641	5,640	3,696	16,043

## Gelbes Feld: angenommener Wert

	cm²						
Rute Nr.	H1	H2	Н3	H4	Gesamt		
1	190,73945	783,38196	1134,5976	616,0599	2655,08068		
2	0	958,76383	279,56076	987,8088	2239,95324		
3	164,6216	527,01027	892,85676	1231,56955	2875,97072		
4	0	130,27544	650,09376	1129,9934	2044,2072		
5	104,94627	436,6533	1373,01642	990,6701	2947,00252		
6	1,89948	473,97779	727,52238	1047,676	2327,7058		
7	9,81398	105,77674	469,29921	677,908	1336,27788		
8	324,65279	460,43145	321,46932	1020,05345	2141,13732		
9	264,18601	529,74836	1369,43886	1503,7232	3737,27844		
10	29,75852	310,26883	703,24608	638,29	1715,4494		
11	0	660,16791	1063,55748	989,89975	2753,268		

12	122,67475	438,67084	1039,28118	419,18045	1981,59864
13	0	313,87158	686,50821	913,74515	1993,16488
14	0	523,26341	1208,06535	1257,8715	3082,15152
15	130,74754	1115,4114	817,08915	978,7847	2999,0506
16	56,82611	429,01547	642,81087	743,938	1901,76644
17	0	386,50302	537,01731	987,47865	1993,66776
18	39,09763	904,43436	711,29559	560,92485	2160,74964
19	0	114,42334	520,40721	927,61145	1671,57312
20	55,4015	373,38901	787,31874	1901,2238	3316,36788
21	0	302,05456	511,33554	1179,736	2114,35896
22	58,09243	595,60663	445,9173	1209,99975	2386,7942
23	13,45465	855,86929	1235,5359	1089,7151	3217,92912
24	0	825,31797	904,73937	1248,1871	3036,138
25	56,9844	568,36984	1277,95554	1481,16295	3490,6158
26	0	929,94183	855,93123	691,22405	2443,11676
27	62,36626	536,0892	540,4671	814,5901	1979,58712
28	130,74754	690,57512	1153,50756	919,24765	2891,43428
29	47,487	317,47433	986,3844	904,72105	2318,77968
30	0	419,79243	1155,16857	1137,80695	2802,67596
31	182,98324	405,95787	883,01847	1307,1739	2861,63864
32	24,37666	547,618	1357,04517	697,16675	2628,8052
33	101,46389	954,15231	1826,21661	614,84935	3412,29224
34	6,01502	274,96188	902,31174	1151,7833	2448,27128
35	21,21086	558,42625	443,48967	846,9448	1907,92672
36	0	789,00225	862,4475	495,77525	2103,2956
37	0	358,25746	830,37723	709,05215	1939,60816
38	349,66261	882,96197	1899,81213	837,37045	3873,93608
39	251,20623	866,38932	363,25011	726,7702	2143,02312
40	118,55921	365,31885	848,64834	938,83655	2320,41404
41	0	271,79146	911,12787	1044,8147	2327,20292
42	0	109,37949	343,82907	816,7911	1366,82784
43	277,79895	633,36345	1230,68064	518,1154	2576,0028
44	0	167,31171	335,26848	775,74245	1362,05048
45	0	571,82848	833,18817	1001,455	2462,72908
46	0	268,47693	546,98337	1647,11835	2654,07492
47	168,73714	812,92451	720,6228	406,7448	2016,92596

# Fehlend Weidenrute 3 Weidenrute 1 Weidenrute 2 Weidenrute 4 Weidenrute 5 Weidenrute 6 Weidenrute 7 Weidenrute 8 Weidenrute 9

# Anhang 3: Weidenrutenfotos vom 30.6.2010










# Anhang 4: Weidenrutenfotos vom 1.7.2010















# Anhang 5: Weidenrutenfotos vom 2.7.2010











# Anhang 6: Referenzruten

# Vegetationsaufnahmen Referenzruten

Datum:1.7./2.7.2010

		1. Ast								
Rute		in cm	Verzw. 1				Ø H1	Ø H2	Ø H3	Ø H4
Nr.	Fotonr.	Höhe	(Rute)	Verzw. 2	Verzw. 3	Verzw. 4	in cm	in cm	in cm	in cm
Α	256	32,5	0	11	4	0	0,85	0,75	0,50	0,30
В	257	40	0	18	12	0	1,00	0,85	0,70	0,45
C	307	7,5	0	17	19	0	1,00	0,75	0,55	0,20
D	308	25	0	14	6	0	0,85	0,75	0,55	0,35
E	309	15	0	19	10	1	0,90	0,70	0,60	0,30

#### **Referenzrute A**

Gesamt	Holz	H1	H2	H3	H4	
17,850	33,188	0,000	3,214	4,996	9,640	g Trochengewicht
31877974,000		0	6447137	9492338	15938499	Pixel
2285,295		0	462,19	680,49	1142,61	cm²
128,03		0	143,80	136,21	118,53	1 g = x cm <sup>2</sup>

#### **Referenzrute B**

Gesamt	Holz	H1	H2	H3	H4	
25,836	46,360	0,000	4,938	12,044	8,854	g Trochengewicht
44408103,000		0	9698314	21765855	12943934	Pixel
3183,566		0	695,26	1560,37	927,94	cm²
123,22		0	140,80	129,56	104,80	1 g = x cm <sup>2</sup>

#### **Referenzrute C**

Gesamt	Holz	H1	H2	H3	H4	
22,236	44,786	1,870	5,912	11,976	2,478	g Trockengewicht
41429540		4131698	12105726	21474076	3718040	Pixel
2970,036		296,20	867,85	1539,45	266,54	cm²
133,57		158,39	146,79	128,54	107,56	1 g = x cm <sup>2</sup>

### **Referenzrute D**

Gesamt	Holz	H1	H2	H3	H4	
13,648	34,170	0,150	2,012	6,656	4,830	g Trockengewicht
23140667,000		325550	4187682	11441436	7185999	Pixel
1658,928		23,34	300,21	820,22	515,16	cm²
121,55		155,59	149,21	123,23	106,66	1 g = x cm <sup>2</sup>

#### **Referenzrute E**

Gesamt	Holz	H1	H2	H3	H4	
12,704	32,224	0,144	1,272	6,676	4,612	g Trockengewicht
20959293,000		320897	2433756	11302217	6902423	Pixel
1502,548		23,00	174,47	810,24	494,83	cm²
118,27		159,76	137,16	121,37	107,29	1 g = x cm <sup>2</sup>

### Gesamtdurchschnitt:

	Gesamt	Holz	H1	H2	H3	H4
g						
Trockengewicht	18,455	38,146	0,433	3,470	8,470	6,083
Pixel	32363115,400		955629	6974523	15095184	9337779
cm²	2320,075		68,51	500,00	1082,16	669,41
1 g = x cm <sup>2</sup>	125,72		158,29	144,11	127,77	110,05





### Referenzrute A

Höhe 2





Höhe 4





# **Referenzrute B**





Höhe 3







# **Referenzrute** C











### **Referenzrute D**

Höhe 1



### Höhe 2









### **Referenzrute E**













#### Mittelwerte



- 131 -