

# **Gaswechsel, Kohlenstoffbilanz und Biomasseproduktion bei *Typha angustifolia* L.**

**Gas exchange, carbon household and biomass production  
of *Typha angustifolia* L.**



## **Dissertation**

**zur Erlangung des Doktorgrades**

**Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)**

**an der Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Ulm,**

**vorgelegt von**

**Dipl. Biol. Sascha Leffler**

**Geb. am 25.01.1971**

**in Lübeck**

**Ulm 2007**

**Amtierender Dekan: Professor Dr. Klaus-Dieter Spindler**

- 1. Gutachter: Professor Dr. Marian Kazda**
- 2. Gutachter: Professor Dr. Manfred Ayasse**

**Tag der Promotion: 30. Juni 2008**

*Für Estella, Linus-Semjon und Cornelia*

*What we know is a drop. What we don't know is an ocean.*

**Sir Isaac Newton**

*Jedes Naturgesetz, das sich dem Beobachter offenbart, lässt auf ein höheres, noch unerkanntes schließen.*

**Freiherr Alexander von Humboldt**

*Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle.*

**Albert Einstein**

---

## Inhaltsverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....   | III |
| <b>Tabellenübersicht</b> .....   | V   |
| <b>Abbildungsübersicht</b> .....   | VII |
| <b>1. Einleitung</b> .....   | 1   |
| <b>2. Material und Methoden</b>  |     |
| 2.1. <i>Untersuchungsgebiet</i> .....  | 15  |
| 2.2. <i>Klima</i> .....  | 15  |
| 2.3. <i>Charakteristik der Untersuchungsart Typha angustifolia L.</i> .....                        | 17  |
| 2.4. <i>Untersuchungsflächen</i> .....   | 19  |
| 2.4.1. <i>Lage der Untersuchungsflächen</i> .....  | 19  |
| 2.4.2. <i>Beschreibung der Untersuchungsflächen</i> .....  | 21  |
| 2.5. <i>Mikroklima</i> .....   | 30  |
| 2.6. <i>Wasserstand</i> .....  | 31  |
| 2.7. <i>Biometrische Daten, Biomasse und Blattflächenindex</i> .....                               | 31  |
| 2.8. <i>Pflanzeninhaltsstoffe</i> .....  | 32  |
| 2.9. <i>Gaswechsellmessungen</i> .....   | 33  |
| 2.9.1. <i>Gaswechsellmessungen im Untersuchungsgebiet Kuibyschew-Reservoir</i> .....               | 33  |
| 2.9.2. <i>Gaswechsellmessungen im Botanischen Garten der Universität Ulm</i> .....                 | 35  |
| 2.10. <i>Statistische und analytische Methoden</i> .....   | 36  |
| <b>3. Ergebnisse</b> .....   | 39  |
| 3.1. <i>Ergebnisse der mikroklimatischen Messungen</i> .....                                       | 39  |
| 3.2. <i>Ergebnisse der Wasserstandsmessungen</i> .....   | 43  |
| 3.3. <i>Ergebnisse der Biometrischen Daten, Biomasse und<br/>          Blattflächenindex</i> ..... | 49  |
| 3.4. <i>Ergebnisse der Pflanzeninhaltsstoffe</i> .....   | 52  |

---

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 3.5.      | <i>Ergebnisse der Gaswechseluntersuchungen</i> .....   | 57  |
| 3.5.1.    | Ergebnisse des CO <sub>2</sub> -Gaswechsels.....   | 57  |
| 3.5.2.    | Abhängigkeiten des CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O-Gaswechsels.....  | 74  |
| 3.5.3.    | Ergebnisse der Gaswechseluntersuchungen im Botanischen Garten<br>der Universität Ulm.....  | 81  |
| 3.5.4.    | Ergebnisse der Kohlenstoffaufnahme und Bilanzierung.....   | 87  |
| 3.5.4.1   | Ergebnisse der Kohlenstoff-Aufnahmen aus den Tagesgängen der<br>Gaswechselfmessungen.....  | 87  |
| 3.5.4.2   | Ergebnisse der Jahresbilanzen aus Kohlenstoff-Aufnahme und<br>Trockenbiomasse.....   | 88  |
| <b>4.</b> | <b>Diskussion</b> .....  | 90  |
| 4.1.      | <i>Diskussion der Ergebnisse der Biometrischen Daten, Biomasse und<br/>Blattflächenindex sowie der Pflanzeninhaltsstoffe</i> ..... | 90  |
| 4.2.      | <i>Diskussion der Ergebnisse der Gaswechseluntersuchungen</i> .....  | 97  |
| 4.3.      | <i>Diskussion der Ergebnisse der Kohlenstoffaufnahme und<br/>Bilanzierung</i> .....  | 101 |
| 4.4.      | <i>Schlussfolgerungen und Ausblick</i> .....   | 103 |
| <b>5.</b> | <b>Zusammenfassung</b> .....   | 107 |
| <b>6.</b> | <b>Summary</b> .....   | 109 |
| <b>7.</b> | <b>Literatur</b> .....   | 111 |
|           | <b>Anhang</b> .....  | i   |

**Danksagung**

**Erklärung**

---

## Abkürzungsverzeichnis

### Statistik

|           |   |
|-----------|---|
| ANOVA     | Varianzanalyse                            |
| MANOVA    | mehrfaktorielle Varianzanalyse            |
| $r^2$     | Bestimmtheitsmaß                          |
| $r_s$     | Rangkorrelationskoeffizient nach SPEARMAN |
| t         | t-Wert                                    |
| F         | F-Wert                                    |
| MS        | mittlere Quadratsumme                     |
| FG        | Freiheitsgrade                            |
| p         | Signifikanzniveau                         |
| n.s.      | nicht signifikant                         |
| n         | Stichprobenumfang                         |
| $\bar{x}$ | arithmetisches Mittel                     |
| $\Sigma$  | Summe                                     |

### Metrische Einheiten

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| a                  | Jahr         |
| d                  | Tag          |
| g                  | Gramm        |
| kPa                | Kilopascal   |
| mg                 | Milligramm   |
| cm                 | Zentimeter   |
| mol                | Mol          |
| mmol               | Millimol     |
| $\mu\text{mol}$    | Micromol     |
| s                  | Sekunde      |
| %                  | Prozent      |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grad Celsius |
| N                  | Anzahl       |

---

**Gaswechselfmessungen**

|                   |   |
|-------------------|---|
| PAR               | Photosynthetisch aktive Strahlung = PFD   |
| PFD               | Photonenflussdichte [ $\mu\text{mol Photonen}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]   |
| Vpdl              | Wasserdampfdruckdefizit an der Blattoberfläche [kPa]  |
| Ci                | CO <sub>2</sub> -Konzentration in den Interzellularen [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol air}^{-1}$ ]                          |
| g                 | Blattleitfähigkeit [ $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] od. [ $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] |
| J <sub>CO2</sub>  | Netto-CO <sub>2</sub> -Austauschrate [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] (auch Ph)                         |
| CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> -Konzentration im Referenzanalysator [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol air}^{-1}$ ]                           |
| CO <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> -Konzentration im Probenanalysator [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol air}^{-1}$ ]                             |
| H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> O-Konzentration im Referenzanalysator [ $\text{mmol H}_2\text{O mol air}^{-1}$ ]                             |
| H <sub>2</sub> OS | H <sub>2</sub> O -Konzentration im Probenanalysator [ $\text{mmol H}_2\text{O mol air}^{-1}$ ]                              |
| T                 | Lufttemperatur [°C]   |
| rH                | relative Luftfeuchte [%]  |
| Trans             | Transpiration [ $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]  |
| TG                | Tagesgang   |
| S                 | Stängel   |

**Sonstige**

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| ROL | Radial Oxygen Loss             |
| N:P | Stickstoff Phosphor Verhältnis |
| LAI | Blattflächenindex              |

## Tabellenübersicht

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabelle 1:</b> Charakteristika der Untersuchungsflächen.....   | 19 |
| <b>Tabelle 2:</b> Prozentuale Gewichtsanteile des Feinbodens.....   | 23 |
| <b>Tabelle 3:</b> Prozentualer Anteil von C, N und P und pH-Wert.....   | 23 |
| <b>Tabelle 4:</b> Ergebnissen des Phytoplanktons der Jahre 2002 und 2003.....   | 27 |
| <b>Tabelle 5:</b> Sensoren der Mikroklimastation.....   | 30 |
| <b>Tabelle 6:</b> Mikroklima- und Gaswechselgrößen der Porometer-Messungen.....   | 33 |
| <b>Tabelle 7:</b> Wasserstände während der photosynthetischen Messungen.....  | 35 |
| <b>Tabelle 8:</b> Mittelwerte der Luft- und Bodentemperatur, Luftfeuchte für die<br>Untersuchungsfläche Pobedilowo.....       | 39 |
| <b>Tabelle 9:</b> Mittelwerte der Luft- und Bodentemperatur, Luftfeuchte für die<br>Untersuchungsfläche Saraly.....           | 40 |
| <b>Tabelle 10:</b> Ergebnisse der Biomasse in Periode 2002 für Untersuchungsfläche<br>Pobedilowo.....                         | 44 |
| <b>Tabelle 11:</b> Ergebnisse der Biomasse in Periode 2002 für Untersuchungsfläche<br>Saraly.....                             | 44 |
| <b>Tabelle 12:</b> Ergebnisse der Biomasse in Periode 2003 für Untersuchungsfläche<br>Pobedilowo.....                         | 45 |
| <b>Tabelle 13:</b> Ergebnisse der Biomasse in Periode 2003 für Untersuchungsfläche<br>Saraly.....                             | 45 |
| <b>Tabelle 14:</b> Ergebnisse der Biomasse in Periode 2004 für Untersuchungsfläche<br>Pobedilowo.....                         | 46 |
| <b>Tabelle 15:</b> Ergebnisse der Biomasse in Periode 2004 für Untersuchungsfläche<br>Saraly.....                             | 46 |
| <b>Tabelle 16:</b> Ergebnisse der MANOVA für die Stängel-Parameter.....   | 48 |
| <b>Tabelle 17:</b> Ergebnisse der MANOVA für Biomasse, Anzahl der Blätter und<br>Blattflächenindex.....                       | 49 |
| <b>Tabelle 18:</b> Ergebnisse der MANOVA für die Pflanzeninhaltsstoffe.....   | 51 |
| <b>Tabelle 19:</b> Ergebnisse der ANOVA für verschiedene Gaswechsel-Parameter....   | 73 |
| <b>Tabelle 20:</b> Ergebnisse der Jahresbilanz des Kohlestoffs für die Periode 2003 der<br>Flächen Pobedilowo und Saraly..... | 83 |

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabelle 21:</b> Ergebnisse der Jahresbilanz des Kohlestoffs für die Periode 2004 der Flächen Pobedilowo und Saraly..... | 84 |
| <b>Tabelle 22:</b> Ergebnisse der Jahresbilanz für Kohlestoff der Fläche Pobedilowo in der Periode 2004.....               | 85 |
| <b>Tabelle 23:</b> Ergebnisse der Jahresbilanz für Kohlestoff der Fläche Saraly in der Periode 2004.....                   | 86 |
| <b>Tabelle 24:</b> Ergebnisse Biomasse des Areals von <i>Typha angustifolia</i> .....                                      | 93 |

---

## Abbildungsübersicht

|   |    |
|---|----|
| <b>Abbildung 1:</b> Anzahl der weltweit registrierten Großstaudämme.....  | 2  |
| <b>Abbildung 2:</b> Saisonale Wasserspiegelschwankungen der Wolga am<br>Kuibyschew-Reservoir.....                 | 3  |
| <b>Abbildung 3:</b> Übersicht der erfassten Parameter während des Projekts.....                                   | 11 |
| <b>Abbildung 4:</b> Staudamm des Kuibyschew-Reservoirs.....   | 16 |
| <b>Abbildung 5:</b> Verbreitungskarte von <i>Typha angustifolia</i> .....   | 16 |
| <b>Abbildung 6:</b> Schematische Darstellung einer <i>Typha</i> -Pflanze.....                                     | 17 |
| <b>Abbildung 7:</b> Klimadiagramm für Kazan.....  | 18 |
| <b>Abbildung 8:</b> Stängelquerschnitts von <i>Typha angustifolia</i> .....                                       | 19 |
| <b>Abbildung 9:</b> Querschnitt des Transekts der Untersuchungsflächen.....                                       | 20 |
| <b>Abbildung 10:</b> Übersichtskarte zur Lage des Untersuchungsgebiets.....                                       | 20 |
| <b>Abbildung 11:</b> Lage der Untersuchungsflächen.....   | 22 |
| <b>Abbildung 12:</b> Elementare Zusammensetzung des obersten Bodenauflage.....                                    | 25 |
| <b>Abbildung 13:</b> Ergebnisse der wasserchemischen Untersuchungen für pH,<br>Nitrat und Ammonium.....           | 28 |
| <b>Abbildung 14:</b> Ergebnisse der wasserchemischen Untersuchungen für<br>Phosphat, Sulfat und Chlorid.....      | 29 |
| <b>Abbildung 15:</b> Tagesmittelwerte der mikroklimatischen Parameter während<br>der Untersuchungsperioden.....   | 41 |
| <b>Abbildung 16:</b> Ergebnisse der Wasserstandsmessungen der Untersuchungs-<br>perioden.....                     | 42 |
| <b>Abbildung 17:</b> Ergebnisse einzelner biometrischer Parameter.....  | 47 |
| <b>Abbildung 18:</b> Mittlere Phosphor- und Stickstoff- Konzentrationen des<br>oberirdischen Pflanzengewebes..... | 52 |
| <b>Abbildung 19:</b> Tagesgänge der CO <sub>2</sub> -Gaswechselfmessungen der<br>Untersuchungsperiode 2003.....   | 55 |
| <b>Abbildung 20:</b> Tagesgänge der CO <sub>2</sub> -Gaswechselfmessungen der<br>Untersuchungsperiode 2004.....   | 56 |
| <b>Abbildung 21:</b> Erster Tagesgang der Untersuchungsfläche Pobedilowo 2002.....                                | 58 |

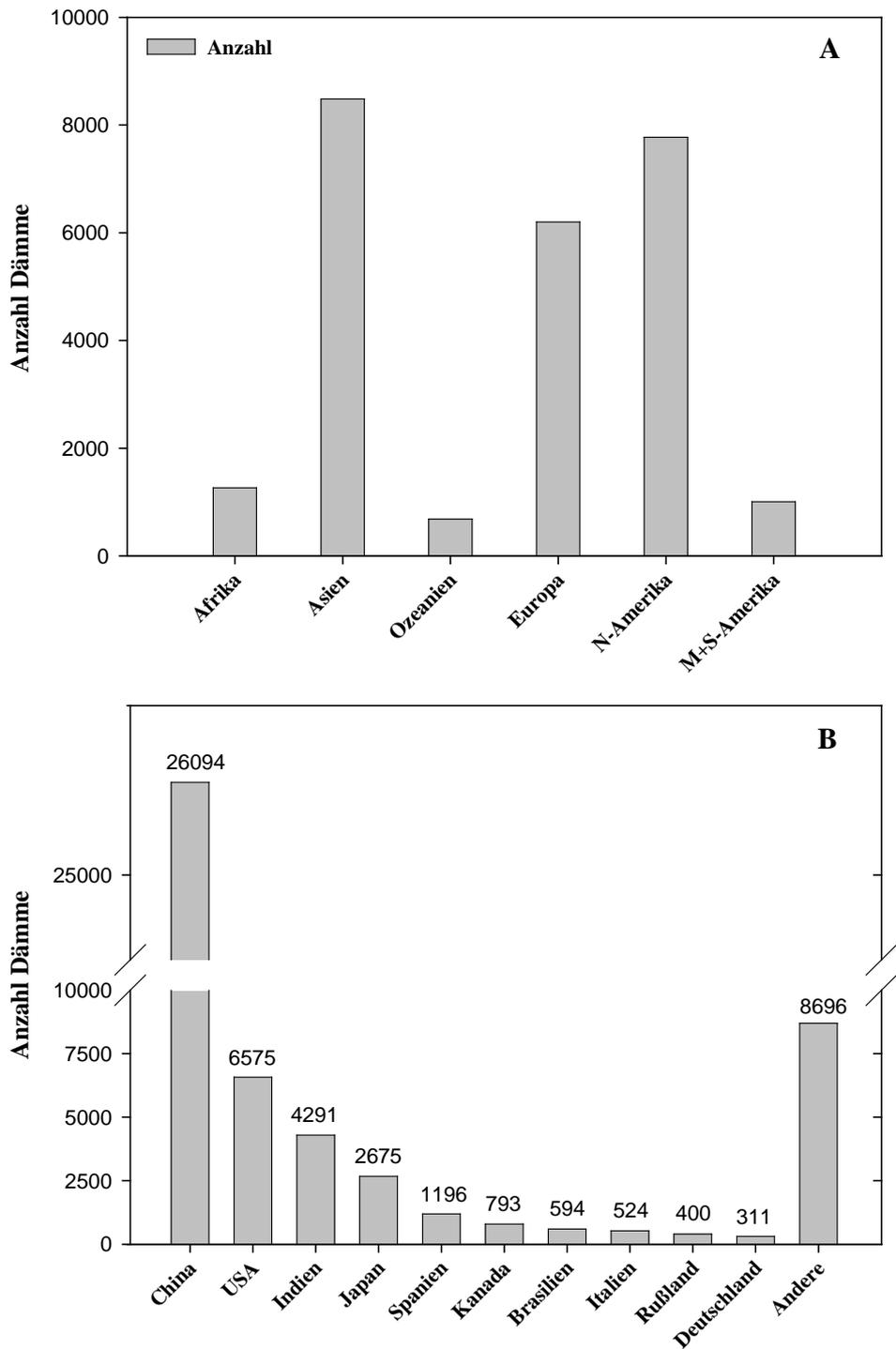
---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Abbildung 22:</b> Erster Tagesgang der Untersuchungsfläche Pobedilowo 2003.....   | 60  |
| <b>Abbildung 23:</b> Zweiter Tagesgang der Untersuchungsfläche Pobedilowo 2003...  | 61  |
| <b>Abbildung 24:</b> Erster Tagesgang der Untersuchungsfläche Saraly 2003.....   | 63  |
| <b>Abbildung 25:</b> Zweiter Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly 2003.....  | 64  |
| <b>Abbildung 26:</b> Erster Tagesgang der Untersuchungsfläche Pobedilowo 2004.....   | 66  |
| <b>Abbildung 27:</b> Zweiter Tagesgang der Untersuchungsfläche Pobedilowo 2004...  | 67  |
| <b>Abbildung 28:</b> Erster Tagesgang der Untersuchungsfläche Saraly 2004.....   | 69  |
| <b>Abbildung 29:</b> Zweiter Tagesgang der Untersuchungsfläche Saraly 2004.....  | 70  |
| <b>Abbildung 30:</b> Dritter Tagesgang der Untersuchungsfläche Saraly 2004.....  | 71  |
| <b>Abbildung 31:</b> Ergebnisse der Zusammenhänge von Gaswechselfparametern der<br>Untersuchungsperiode 2003.....                | 75  |
| <b>Abbildung 32:</b> Ergebnisse der Zusammenhänge von Gaswechselfparametern der<br>Untersuchungsperiode 2004.....                | 76  |
| <b>Abbildung 33:</b> Zusammenhänge zwischen $g$ und $C_i$ .....  | 78  |
| <b>Abbildung 34:</b> Tagesgang I und Tagesgang II der Messungen im Botanischen<br>Garten der Universität Ulm.....                | 80  |
| <b>Abbildung 35:</b> Ergebnisse der Zusammenhänge während der<br>Tagesgänge I und II im Botanischen Garten der Universität Ulm.. | 81  |
| <b>Abbildung 36:</b> Ergebnisse der Kohlenstoffaufnahme und oberirdische<br>Trockenbiomasse von <i>Typha angustifolia</i> .....  | 87  |
| <b>Abbildung 37:</b> Übersicht über die in der vorliegenden Arbeit erzielten<br>Ergebnisse an <i>Typha angustifolia</i> .....    | 103 |

## 1. Einleitung

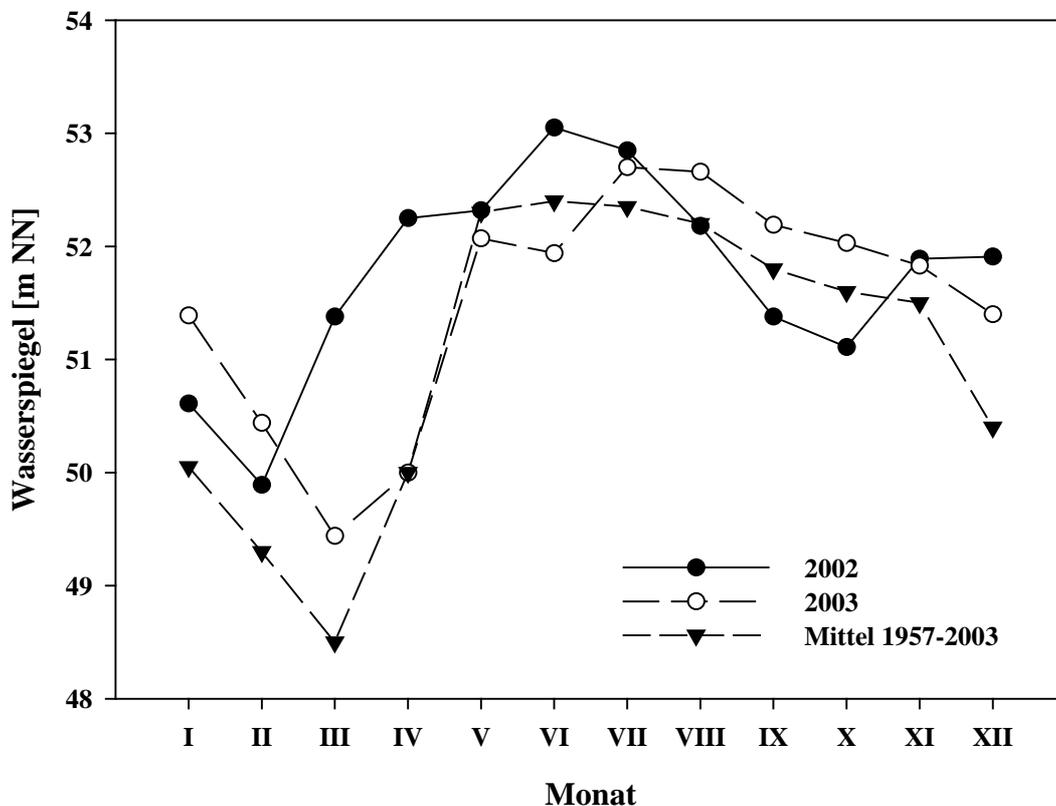
Feuchtgebiete (Flüsse, Seen, Moore etc.) umfassen etwa sechs Prozent der Erdoberfläche und zählen zu den weltweit am meisten gefährdeten Lebensräumen (MALTBY 1991; IPCC 2001; WISSING & HOFFMANN 2002). Es wird geschätzt, dass mehr als 50 Prozent der ursprünglichen globalen Feuchtgebiete in den letzten Dekaden verschwunden sind (DUGAN 1993). Daher werden heute viele bedeutende Feuchtgebiete durch den internationalen Vertrag von Ramsar (Iran) von 1971 geschützt (letzte Zahlen: 145 Staaten, 1429 Feuchtgebiete mit 125 Millionen Hektar). Ein Grund für die Zunahme der Forschung in den letzten Jahrzehnten war der Verlust an Feuchtgebieten. Ein weiterer Grund lag in der Nutzung der Ressource Feuchtgebiet (Energiegewinnung, Wasserreinigung, Reisanbau etc.). So werden vielerorts technische Feuchtgebiete zum Beispiel zur Abwasserreinigung, Aufbereitung von Wasser (WISSING & HOFFMANN 2002) und Fließgewässerrückbau (HEY & PHILIPPI 1995) oder zur Torfmoor-Restaurierung (WILD et al. 2001) eingesetzt. Des Weiteren besteht auch ein Interesse in der molekularen Forschung und Biotechnologie. Zum Beispiel konnten Überflutungstoleranzen wie die der Reispflanzen in nicht tolerante Pflanzenarten eingebaut werden (DENNIS et al. 2000, ZHANG et al. 2000b). Außerdem sollte der Zerstörung durch Fluten in Feucht- und Flussgebieten durch Staudämme und Flusstaustrufen vorgebeugt werden. Die dabei auftretende Problematik für die Ufergesellschaften durch Wasserspiegelschwankungen war der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Alle diese Gründe machen auch die Fülle an Büchern und Abhandlungen über Feuchtgebiete und deren Probleme verständlich (KOZLOWSKI 1984, CRAWFORD 1987, ARMSTRONG et al. 1994, KRIVENKO 1999, MITSCH & GOSSELINK 2000, KEDDY 2000, CRONK & FENNESSY 2001, WISSING & HOFFMANN 2002).

Kinder bauen Dämme, wenn sie im Wasser spielen. Die Faszination für die Bauwerke und die Kontrolle des Wassers begeisterte seit jeher den Menschen. Dabei erfüllen Dämme heute die Aufgaben, Überschwemmungen zu kontrollieren, Wasser zur Stromerzeugung nutzbar zu machen sowie Trinkwasser und Wasser für die Industrie und zur landwirtschaftlichen Bewässerung bereitzustellen. Durch die Begradigungen und Drainierungen führten diese Maßnahmen allerdings zu einem Rückgang von Feuchtgebieten. Nach dem Bericht der „World Commission on Dams“ (WCD) (2000) besitzt heute fast die Hälfte aller Flüsse der Erde einen Großstaudamm. Es sind weltweit



**Abbildung 1:** (A) Anzahl der weltweit registrierten Großstaudämme (Höhe über 15 m) nach AVAKYAN & IAKOVLEVA (1998) und (B) Aufteilung der registrierten Großstaudämme auf einzelne Staaten nach WCD (Would Commission on Dams) (2000) (Zusammenstellung aus unterschiedlichen Quellen – zum Teil geschätzte Angaben).

über 45.000 Großstaudämme in Betrieb, die mehr als 15 m Höhe aufweisen (Abb.1). Derzeit befinden sich weitere 1700 Dämme im Bau (WCD 2000). Die Großstaudämme decken 19 Prozent des gesamten Strombedarfs der Erde. Fünf Länder – Kanada, USA, Brasilien, China und Russland – nutzen mehr als die Hälfte der global erzeugten Energie, die aus Wasserkraft gewonnen wird. Nach dem Bau von Großstaudämmen wurden global 40 bis 80 Millionen Menschen vertrieben bzw. umgesiedelt. Die Errichtung von Staudämmen hat auch Schädigungen des ökologischen Zustands des Gewässers zur Folge. Folgende Schädigungen konnten beobachtet werden: Fragmentierung, Eutrophierung, Veränderungen von Temperatur und Chemie des Gewässers, Akkumulation von schlammigen Ablagerungen (Sedimentation), Sauerstoffmangel mit einer Reduzierung der Fischbestände, Verhinderung von Migration von Arten sowie Invasion fremder Arten und Wasserspiegelschwankungen (MONAKOV 1983, VÖRÖSMARTY et al. 1997, WCD 2000). Noch immer sind viele Konsequenzen und Fragen ungelöst und gerade über die russischen und chinesischen Reservoire bestehen die größten Informationslücken (RAVENGA et al. 2000).



**Abbildung 2:** Saisonale Wasserspiegelschwankungen der Wolga am Kuibyschew-Reservoir (Russische Föderation) für die Jahre 2002 und 2003 sowie zum Vergleich das langjährige Mittel von 1957 (Vollendung des Wasserstauwerks Toljatti) bis 2003 (Quelle: Fischereibehörde Kazan).

Dieser Arbeit diene als Untersuchungsgebiet das Kuibyschew-Reservoir<sup>1</sup> in der Russischen Föderation. Das Kuibyschew-Reservoir kann als ein mesotropher See mit ausgeprägten eutrophen und kontaminierten Gebieten um die angrenzenden Großstädte und Industriekomplexe charakterisiert werden (MONAKOV 1983). Das Hauptproblem des Kuibyschew-Reservoirs sind die Wasserspiegelschwankungen (MONAKOV 1983). Die negativen Einflüsse von periodischen Wasserspiegelschwankungen auf die Zusammensetzung und Ökologie von Gewässern und deren Uferbereiche sind auch aus anderen Feuchtgebieten der Erde beschrieben worden (FERNÁNDEZ-ALÁEZ et al. 1999, GAFNEY & GASITH 2000, GASITH et al. 2000, KELLOGG et al. 2003). Andererseits können Wasserspiegelschwankungen auch ein Garant für eine höhere Biodiversität an den Uferzonen von Großseen und Reservoiren sein (KEDDY & FRASER 2000, KEDDY 2000). So können Hochwasserperioden die Sträucher der Ufer zurückdrängen, und Niedrigwasserperioden erlauben manchen Arten die Regeneration durch Samen. Somit entstehen Zwei- bis Mehrvegetationszonen-Systeme, die verschiedene Vegetationstypen erzeugen (KEDDY & FRASER 2000, KEDDY 2000).

Im Fall des Kuibyschew-Reservoirs steigt im Frühsommer der Wasserstand im langjährigen Mittel auf ein Maximum von 53 m NN an und hält sich für zwei bis drei Monate, bevor er in den Wintermonaten dann wieder um bis zu sechs Meter absinkt (Abb. 2). Wie aus Abbildung 2 ersichtlich bestehen starke Unterschiede zwischen den Jahren in dieser Dynamik. Besonders wegen der sehr geringen Wassertiefe sind große Bereiche periodisch dem Wechsel von aeroben und anaeroben Verhältnissen ausgesetzt. Der Stausee besitzt eine mittlere Wassertiefe von 8,9 m mit tiefsten Stellen von 40 m (MONAKOV 1993). 15 Prozent der Seefläche sind aber flacher als zwei Meter. Trotz dieser periodisch schnell veränderlichen Umweltbedingungen konnte sich eine reichhaltige Flora an den flachen Uferstreifen ausbilden. Bei einer Kartierung konnten 121 Arten der höheren Pflanzen registriert werden (GOLUBEVA 1973). Gesellschaftsbildend für die Röhrichtzonen sind dabei *Typha angustifolia* L., *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. ex STEUD., *Glyceria maxima* (HARTMAN) HOLMBERG und *Butomus umbellatus* L. In dieser Arbeit wurden Bestände der in starker Abundanz am Kuibyschew-Reservoir vorkommenden *Typha angustifolia* untersucht. Für die Wahl dieser Art gab es verschiedene Gründe. Zumal direkt nach der Fertigstellung des Dammes und der Flutung 1957/1958 eine Ausbreitung beider in dieser Region verbreitenden *Typhacaeen*, *Typha*

---

<sup>1</sup> Auch Samaraer Stausee genannt.

*angustifolia* und *Typha latifolia* L., zu beobachten war (BELYAVSKAYA 1958). *Typha latifolia* ist generell weiter verbreitet und besitzt auch eine größere ökologische Amplitude als *Typha angustifolia* (HEGI 1980). Allerdings erreicht *Typha angustifolia* größere Pflanzhöhen (HEGI 1980). Weitere Studien zeigten, dass *Typha angustifolia* höhere Wasserstände mit längerer Überflutungsdauer besser toleriert als *Typha latifolia* (WEISNER 1993, GRACE & WETZEL 1998, CRONK & FENNESSY 2001). Daher erwies sich *Typha angustifolia* als die besser angepasste Art am Kuibyschew-Reservoir, wo hohe und andauernde Wasserstände dominieren.

Der durch Überflutung von Feuchtgebieten aber nicht nur dort auftretende Sauerstoffmangel im Boden ist einer der hauptsächlichen Gründe für Einschränkungen der Pflanzenfunktionen und des Pflanzenwachstums. Nach PONNAMPERUMA (1984) stellt in gut drainierten Böden der Gaswechsel zwischen Atmosphäre und Boden ein Ergebnis von Diffusion oder Massenfluss dar, der durch Temperatur, Druck, Windgeschwindigkeit oder Regen beeinflusst wird. Gasdiffusion ist der wichtigere der beiden Prozesse. Bei gut drainierten Böden ist die Diffusion nahezu gleich wie in der Atmosphäre, die durch das FICKsche Diffusionsgesetz dargestellt werden kann:

$$dq = -DA * \left( \frac{dc}{dx} \right)_T * dt$$

(D= Diffusionskoeffizient, dq = Anzahl Mol einer Substanz, dt = Zeitperiode, A = Querschnitt, dc/dx = Konzentrationsgradient, T = Temperatur).

Nimmt aber der Wassergehalt eines Bodens zu, so nimmt der leitende Querschnitt A ab, und die Überflutung verhindert schließlich den Gaswechsel zwischen Atmosphäre und Boden. Die Diffusion D von Gasen in Wasser ist  $10^4$  mal langsamer als in der Luft. Folglich ist der Sauerstoffeintrag in den Boden stark vermindert. Aerobe Bedingungen im Boden umfassen nur noch Schichten von <1 mm bis nicht mehr als einige Zentimeter. Nach der Überflutung wird der verbleibende Restsauerstoff unmittelbar durch Mikroorganismen oder Pflanzen aufgebraucht. Dadurch können Gase und Substanzen ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ), die durch den Metabolismus gebildet werden, entstehen. Es kann zu einem völligen Sauerstoffschwund (Anoxie) kommen. Auch wenn die Sauerstoffkonzentration an der Oberflächenschicht des Bodens immer noch hoch ist, beträgt die Schichtdicke nur wenige Millimeter. Weiterhin ist nach PONNAMPERUMA (1984) im Hinblick auf Sauerstoff im Wasser ein 30-facher Abfall der Konzentration von der gasförmigen zur gelösten Form zu finden. Der Abfall des Gastransports in Überflutungsböden ist gekoppelt mit einer Abnahme von aeroben Mikroorganismen. Daher werden die Überflutungsböden

nährstoffarm, und durch eine hohe Aktivität von anaeroben Mikroorganismen können Stoffe bis zu phytotoxischen Konzentrationen angereichert werden. Allerdings ist es möglich, dass durch Schwankungen des Gewässers und damit verbundene Trocken- und Überflutungsperioden Nährstoffdefizite ausgeglichen werden (PONNAMPERUMA 1984). Um das Überleben unter Sauerstoffmangel oder Anoxie zu sichern, haben sich eine Vielzahl von Anpassungen bei Feuchtgebietspflanzen entwickelt (ARMSTRONG et al. 1994, PEZESHKI 2000). Diese Resistenz- und Toleranzstrategien nach Überflutung sind ein Spiegel der großen Vielfältigkeit von Überflutungsmustern auf der Welt. Die Anpassungen und Strategien können in folgende Gruppen zusammengefasst werden:

- a) Morphologische Anpassungen mit Gastransport durch Belüftungsgewebe (ARMSTRONG 1979, RASKIN & KENDE 1985, BRIX et al. 1992, BENDIX et al. 1994, ARMSTRONG et al. 1996b, VRETARE STRAND 2002)
- b) Physiologische Anpassungen des Stoffwechsels (WEBER & BRÄNDLE 1994, BRAGINA et al. 2004) oder Überflutungsresistenzen und Hormonumstellung (REID & BRADFORD 1984, JACKSON 1985, DENNIS et al. 2002, JACKSON 2002)

Bei den unter a) genannten morphologischen Anpassungen bei Pflanzen handelt es sich um die Bildung eines Belüftungsgewebes, des Aerenchyms. Aerenchyme sind starke Erweiterungen der Interzellularen des Rindenparenchym der Wurzeln und Sprosse (SIFTON 1945). Der effektivste Weg für Wurzeln und Rhizome, in Überflutungsböden an Sauerstoff zu gelangen, ist der Transport von photosynthetischem oder atmosphärischem Sauerstoff via Gas-Phase durch das Sprosssystem. Hierfür werden die Aerenchyme genutzt. Dieser Transport zu den Wurzeln findet durch Diffusion oder Konvektion statt. Der Massenfluss oder die Durchströmungskonvektion (manche Autoren sprechen auch von Druckventilation) wird so genannt, da Gase oberhalb des Wasserspiegels in die freistehenden Pflanzenteile durch Diffusion eindringen, bevor sie ventilieren und an einer anderen Stelle der Pflanze zurück an die Atmosphäre treten. Dies kann durch drei Möglichkeiten geschehen:

- a) durch von einem Gradienten der relativen Luftfeuchte induzierte Konvektion (Humidity-induced pressurization) (BENDIX et al. 1994, ARMSTRONG et al. 1996b)
- b) durch thermoosmotische Konvektion (DACEY 1981, GROSSE et al. 1991)

- c) durch eine vom Wind über alte Sprosssteile induzierte Konvektion (Venturi-Effekt) (ARMSTRONG et al. 1996a)

Konvektion und Diffusion treten gleichzeitig auf, wobei der Sauerstofftransport von den belüfteten Sprossen zu den Wurzeln schneller durch Konvektion als durch Diffusion verläuft (SORRELL et al. 1997). Durch den Konvektionsfluss kann die Sauerstoffsättigung in den Rhizomen fast bis zur Konzentration der Atmosphäre angehoben werden. Dabei kann Sauerstoffsättigung gerade nur dann ansteigen, wenn eine signifikante Menge an photosynthetisch erzeugtem Sauerstoff vorhanden ist (RASKIN & KENDE 1985). Bei gut belüfteten Wurzeln kann Sauerstoff sogar an die Rhizosphäre wieder abgegeben werden. Dies wird als „radial oxygen loss“ (ROL) beschrieben (ARMSTRONG 1979). ROL kann in unterschiedlichen Mengen und an unterschiedlichen Punkten der Wurzeln auftreten (CONLIN & CROWDER 1989, WIESSNER et al. 2002, COLMER 2003). Meistens wird der Sauerstoff an den radialen Seiten der Wurzeln oder an deren Spitzen abgegeben. Daher besitzen überflutete Böden drei Typen von aerob-anaeroben Schnittstellen: eine sauerstoffreiche Oberflächenschicht (bei sauerstoffangereicherten Wasserkörpern), eine anaerobe Bodenmatrix und in der Rhizosphäre von Makrophyten<sup>1</sup> einen mit Sauerstoff angereicherten Subboden (LARCHER 1994). So war zum Beispiel bei Messungen im Boden von überfluteten *Carex rostrata*-Beständen die mittlere Sauerstoffsättigung signifikant um das Doppelte höher als in Bereichen ohne Vegetation (MAINIERO & KAZDA 2005). Die Sauerstoffabgabe an die Rhizosphäre hat erhebliche Vorteile für die Pflanzen, da reduzierend wirkende Substanzen unschädlich gemacht werden können. Zum Beispiel wird Fe II als Fe III-Oxid ausgefällt. Es entstehen aerobe Zonen in einem überwiegend anoxischen Habitat. Die Schnittstellen fördern die aeroben Prozesse wie Nitrifikation, Eisenoxidation oder Methanoxidation und machen Nährstoffe für die Pflanze verfügbar. Schon WATANABE & FURUSAKA (1980) konnten feststellen, dass die Rhizosphäre von Reis einen positiven Einfluss auf aerobe Bakterien (inklusive heterotrophe N-Fixierer) und einen negativen Effekt auf Clostridien, Sulfat-Reduzierer und Denitrifizierer hat. Die Interaktion zwischen dem ROL der Feuchtgebietspflanzen und Mikroorganismen des Sediments scheint in vieler Hinsicht mutualistisch zu sein (BODELIER et al. 1996, BODELIER 2003).

---

<sup>1</sup> Als Makrophyten werden Wasserpflanzen bezeichnet, die aufgrund ihrer Größe ohne besondere Hilfsmittel betrachtet werden können – dazu zählen neben Phanerogamen auch Kryptogamen (vgl. CASPER & KRAUSCH 1981)

---

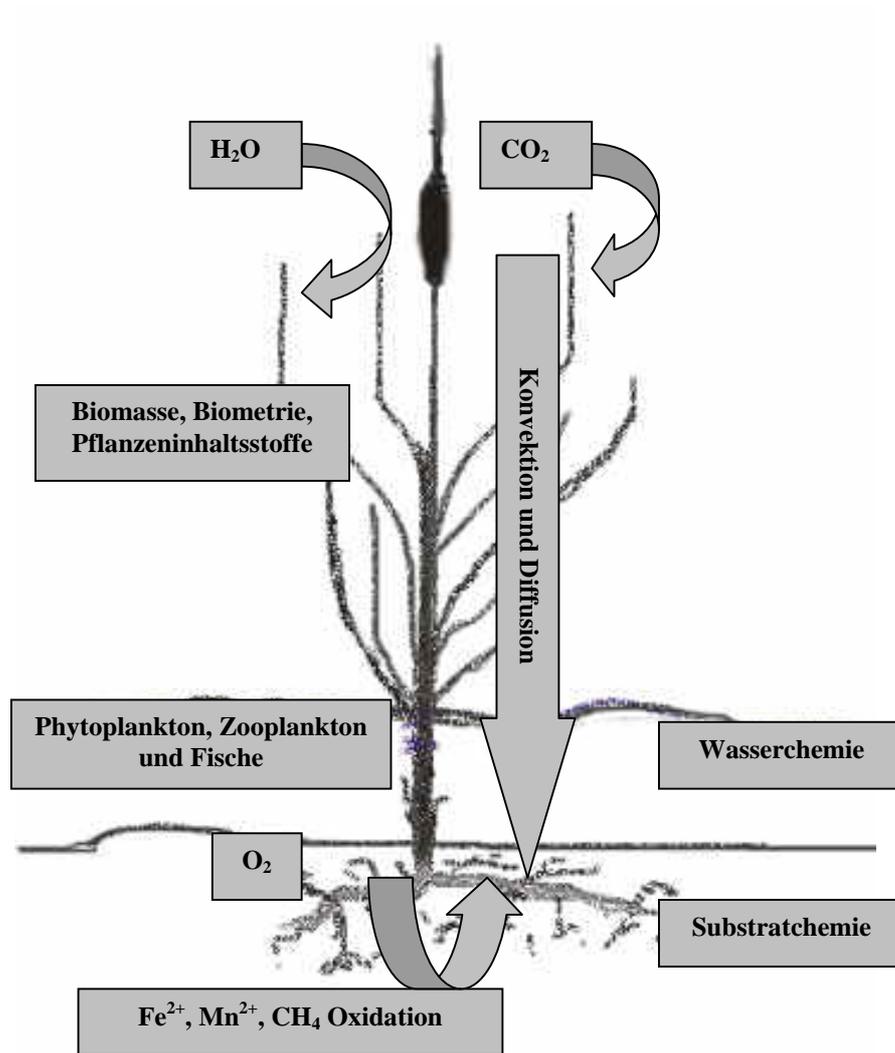
Pflanzenarten mit Druckventilation wachsen signifikant tiefer im Wasser als Arten ohne Druckventilation (VRETARE STRAND 2002). Allerdings müssen keine hohen Belüftungsraten vorliegen, um noch eine Ausbreitung in Wassertiefen von mehr als einem Meter zu gewährleisten. So fand VRETARE STRAND (2002) in sechs Seen in Südschweden nur vier (*Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris*, *Typha angustifolia* und *Equisetum fluviatile*) von insgesamt 32 Arten, die in Tiefen von mehr als einem Meter vorkamen. Dabei wiesen *Schoenoplectus lacustris* und *Equisetum fluviatile* keine bis geringe Belüftungsraten auf. Ebenfalls hatte das Redoxpotential des Substrats keinen Einfluss auf das Vorkommen im tiefen Wasser. Außerdem bestanden Unterschiede zwischen den Pflanzenarten. So hatte Licht bei *Typha latifolia* keinen Einfluss auf die Konvektion, während bei *Typha angustifolia* im Licht die Konvektion geringer war als im Dunklen (BENDIX et al. 1994). Außerdem war die Kapazität der Konvektion bei *Typha angustifolia* zweimal so hoch wie bei *Typha latifolia* unter identischen Umweltbedingungen.

Neben der Druckventilation ist die Wassertiefe ein legitimierender Faktor für Wachstum und Dichte von Makrophyten. So ist das Wachstum bei *Phragmites australis* in tieferem Wasser (bis 80 cm) reduziert (VRETARE & WEISNER 2000). In einem Gewächshausexperiment mit *Phragmites australis* bildeten die Pflanzen weniger unterirdische Biomasse im tiefen Wasser (70- 75 cm) als im flachen Wasser (5- 20 cm) (VRETARE et al. 2001). Ebenfalls bildeten die Pflanzen weniger, aber höhere Sprosse aus. Pflanzen, die im konstanten Wasserstand (40 cm) gehalten wurden, wuchsen schneller als Pflanzen im fluktuierenden Wasserstand (15/65 cm). Bei der nordamerikanischen anoxie- und salztoleranten C4-Grassart *Scirpus americanus* wurde nach einer sechsmonatigen Überflutung eine signifikante Reduzierung der Pflanzenhöhe und der ober- und unterirdischen Biomasse beobachtet (SELISKAR 1990). Die Pflanzenhöhe war im Mittel um 23 Prozent und die Biomasse um 33 Prozent reduziert gegenüber Pflanzen in durchlüfteten Böden. Andere Untersuchungen zeigten Anpassungen und Korrelationen zwischen Produktivität einerseits sowie periodischen Wasserstandsschwankungen und hohen Wasserständen andererseits. Bei der südamerikanischen *Eleocharis interstincta* (*Cyperaceae*) korrelierten die Pflanzenhöhe und Biomasse eng mit den Wasserspiegelschwankungen (SANTOS & ESTEVES 2004). GRACE & WETZEL (1998) konnten zeigen, dass die Dichte der Pflanzen von *Typha angustifolia* in größeren Wassertiefen (90 cm) signifikant zunimmt, während sie in geringeren Wassertiefen

(0-30 cm) auflockert und abnimmt. So führt auch Austrocknung oder periodische Austrocknung zur Reduktion von Biomasse und Wachstum von Makrophyten, wobei hauptsächlich das Wurzelwachstum davon betroffen ist. Bei einem anderen Gewächshausexperiment mit *Typha latifolia* nahmen die Pflanzenhöhe, die Biomasse und das Spross-Wurzel-Verhältnis von periodisch trockenen Pflanzen signifikant gegenüber überfluteten (Minimum 5 cm) und periodisch überfluteten Pflanzen ab (LI et al. 2004). Ebenso waren Nettophotosynthese, Chlorophyllgehalt und stomatäre Leitfähigkeit bei den periodisch trockenen Pflanzen geringer als bei den kontinuierlich überfluteten und periodisch überfluteten Pflanzen. Allerdings führte Überflutung zu einem rapiden Abfall der photosynthetischen Funktionen der Pflanzen bei vielen Arten (PEZESHKI 2000, 2001). Die Pflanzen reagierten bei Überflutung mit Schließen der Stomata, wonach ein Abfall der photosynthetischen Aktivität folgte. Zum Beispiel sanken die Nettophotosynthese und die stomatäre Leitfähigkeit von *Typha domingensis* in Reaktion auf eine Abnahme des Redoxpotentials des Bodens, besonders wenn das Redoxpotential des Bodens unter  $-200$  mV fiel (PEZESHKI et al. 1996). Das Redoxpotential des Bodens korrelierte proportional mit der Sauerstoffsättigung des Bodens, während diese wiederum bei Überflutung abnahm. Andere Untersuchungen zeigten, dass die Nettophotosynthese und die stomatäre Leitfähigkeit bei *Typha latifolia* signifikant mit einer Zunahme der Temperatur und Lichtverhältnissen anstiegen (KNAPP & YAVITT 1995). Allerdings bestanden tägliche und saisonale Abweichungen. Die Stomata schlossen sich in der Nacht komplett. Untersuchungen an *Typha domingensis* und *Typha latifolia* zeigten positive Korrelationen von stomatärer Leitfähigkeit zum Wasserdampfdruckdefizit (KOCH & RAWLIK 1993, KNAPP & YAVITT 1995). Nach einer Studie aus Nordamerika sind Höchstwerte der Nettophotosynthese für die  $C_3$ -Art *Typha angustifolia* von  $<30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  zu erwarten (FARNSWORTH & MEYERSON 2003). Zum Vergleich ergaben Messungen bei *Typha latifolia* Höchstwerte von  $43 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (LARCHER 1994). Zusätzlich sind emergente Makrophyten in der Lage, aus dem Substrat abgeleitetes  $\text{CO}_2$  via Aerenchymen zu transportieren und für die Photosynthese und die Erhöhung der Photorespiration zu nutzen bzw. zu recyceln (BRIX 1990, CONSTABLE et al. 1992). CONSTABLE et al. (1992) konnten feststellen, dass die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in den Blättern von *Typha latifolia* im Tagesverlauf und saisonal unterschiedlich erhöht gegenüber der Atmosphäre vorlag. So war sie doppelt so hoch in den Morgenstunden und sank im Laufe des Tages auf atmosphärische Konzentrationen. Die morgendliche

CO<sub>2</sub>-Konzentration konnte dabei bis 18 Mal so hoch wie die der Atmosphäre sein. Die Autoren gingen davon aus, dass die saisonalen Konzentrationsschwankungen durch die saisonale Aktivitätsänderung der Bodenmikroorganismen zu erklären waren.

Produktivität und Wachstum von emergenten Makrophyten, abgesehen von unterschiedlichen Artansprüchen, korrelierten positiv mit der Zunahme von Nährstoffen in Substrat und Wasser. Allerdings müssen die Nährstoffe im Einzelnen betrachtet werden. Nitrat hatte zum Beispiel keinen relevanten positiven Effekt auf die Biomasseproduktion (ERNST 1990). Ein besonders positiver Einfluss wurde für erhöhte Gaben von Phosphor [P] und Kalium [K] berichtet (BONNEWELL & PRATT 1978, FERNÁNDEZ-ALÁEZ et al. 1999, LORENZEN et al. 2001, BUSCH et al. 2004). So erhöhte die Gabe von Phosphor und Kalium die Trockenbiomasse von *Typha angustifolia* in einem Gewächshausexperiment um 37 Prozent gegenüber der Kontrolle (BONNEWELL & PRATT 1978). FERNÁNDEZ-ALÁEZ et al. (1999) bezeichnen Phosphor als das limitierende Element für Makrophyten. Die Toleranz von verschiedenen emergenten Makrophyten gegenüber Schwermetallen, geringen Salzkonzentrationen oder sonstigen Pflanzengiften ist aus verschiedenen Studien bekannt, und zeigt den Nutzen dieser Pflanzengruppe für Renaturierungen (WILD et al. 2001) oder Kläranlagen (AMBROS et al. 1998). So liegen Berichte über die Tolerierung von erhöhten Eisenkonzentration im Substrat bei verschiedenen Makrophyten vor (ERNST 1990). Allerdings zeigte ein Experiment, dass eine erhöhte externe Eisenkonzentration eine signifikante Hemmung des Wachstum bei Jungpflanzen von *Phragmites australis* hervor rief (BATTY & YOUNGER 2003). Andere Studien aus verschiedenen Seen in Polen ergaben hohe Konzentrationen von Schwermetallen im Gewebe verschiedener Makrophyten (KUFEL & KUFEL 1985, SAMECKA-CYMERMAN & KEMPERS 2001). Speziell auch die Toleranz von *Typha angustifolia* gegenüber erhöhten Konzentrationen von Schwermetallen oder anderen Pflanzengiften konnte in verschiedenen Studien belegt werden. So tolerierte *Typha angustifolia* moderate Salzkonzentrationen im Wasser und Substrat in Brackwassersümpfen, und akkumulierte dort sogar höhere Biomasse als in Süßwassersümpfen (FARNSWORTH & MEYERSON 2003). Auch hatten toxische Ammoniakkonzentrationen von 50 bis 400 mg/l keinen sichtbaren Effekt auf Zuwachs und Biomasseproduktion von *Typha angustifolia* (CLARKE & BALDWIN 2002). Arten wie *Juncus effusus* waren dagegen anfällig gegen hohe Ammoniakgaben.



**Abbildung 3:** Übersicht über die während des Projektes „Einfluss von Wasserspiegelschwankungen auf *Typha*-dominierte Littoralgesellschaften am Kuibyschew-Reservoir“ erfassten Parameter und Prozesse bei *Typha angustifolia*. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit betreffen die ausgewerteten Daten des Abschnittes des Projektes, der sich mit den Gaswechsellvorgängen, Biomasseumsätzen und Biometrie der Pflanzen beschäftigte.

In einem anderen Experiment zeigte *Typha angustifolia* eine Aufnahme von Blei in erhöhten Konzentrationen und Einlagerung in das Gewebe (PANICH-PAT et al. 2004). Schon KUFEL & KUFEL (1985) konnten in Untersuchungen von polnischen Seen feststellen, dass *Typha angustifolia* hohe Konzentrationen von Blei in die Biomasse einspeichert.

Aus allen bisher aufgeführten Studien, Experimenten und Arbeiten geht hervor, dass *Typha angustifolia* eine sehr tolerante Art ist, die an variierende Umwelteinflüsse sehr stark angepasst ist. *Typha angustifolia* hat sich zu einer Art entwickelt, die anoxische, teilweise phytotoxische und extreme mikroklimatische Umweltbedingungen nicht nur toleriert, sondern dabei noch eine hohe Produktivität aufweist. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass *Typha angustifolia* an den Uferbereichen von Großgewässern der nördlichen Hemisphäre und speziell am Kuibyschew-Reservoir eine wichtige Schlüsselrolle zukommt (sensu KEDDY & FRASER 2000). So wiesen Ergebnisse von Untersuchungen an Kuibyschew-Reservoir in Uferbeständen von *Typha angustifolia* bereits erhöhte Dichten von Invertebraten und Plankton auf (ACHMETZYANOVA 1984a). Besonders im Vergleich mit *Glyceria maxima* und *Eleocharis palustris* Beständen wiesen *Typha angustifolia*-Bestände eine höhere Biomasse und Abundanz von Invertebraten auf und boten so den benthischen Invertebraten ein erhöhtes Nahrungsangebot (ACHMETZYANOVA 1984b; ACHMETZYANOVA et al. 2000). Ebenfalls wurde das Nahrungsangebot für Fische erhöht (ACHMETZYANOVA 1984b). Trotzdem standen keine detaillierten Daten und Ergebnisse zur Verfügung, die die negativen Einflüsse von Wasserspiegelschwankungen auf die *Typha*-dominierten Ufergesellschaften am Kuibyschew-Reservoir untersuchten. Die Untersuchungen dieser Problematik standen im Vordergrund der Zielsetzung eines Projektes mit dem Titel „Einfluss von Wasserspiegelschwankungen auf *Typha*-dominierte Littoralgesellschaften am Kuibyschew-Reservoir“. Das Projekt basiert auf einer Zusammenarbeit der Universität Ulm, sowie des Instituts für Ökologie von Natursystemen der Akademie der Wissenschaften der Republik Tatarstan in Kazan und der Staatlichen Universität Kazan (Russische Föderation). Bei dem Projekt wurde von der Hypothese ausgegangen, dass *Typha angustifolia* an den Ufern des Kuibyschew-Reservoirs die bereits beschriebenen negativen Einflüsse der Wasserspiegelschwankungen durch Versorgung der Habitate mit organischer Substanz und Sauerstoffzufuhr mildert. Dabei wurden folgende Teilbereiche gezielt betrachtet:

- (1) Der Einfluss von *Typha angustifolia* auf verschiedene chemische Parameter des Wassers und Substrats bei unterschiedlicher Eutrophierung.
- (2) Quantifizierung des Sauerstoffeintrags in das Substrat mittels *Typha angustifolia* und deren Abhängigkeit von Umweltfaktoren.

- (3) Einschätzung der Struktur und Produktion der Littoralgesellschaften in den Zonen der Wasserspiegelschwankungen im Zusammenhang mit *Typha angustifolia*.

Um einen Überblick über die während des Projektes ermittelten Parameter und Prozesse zu bekommen, sind diese in Abbildung 3 zusammengefasst. Der unter (1) aufgeführte Themenbereich wurde durch die Arbeitsgruppe Biogeochemie, Institut für Ökologie von Natursystemen unter der Leitung von Dr. V. Ivanow bearbeitet. Dazu wurden das Wasser auf Sauerstoff, Stickstoffverbindungen, pH-Wert, Phosphor, Schwermetalle und Eisen, sowie Sulfat, Chlor und Spurenelemente und der Boden auf Parameter wie Humus, Korngrößen, Phosphor und Schwermetalle untersucht. Um die Struktur und Produktion der Littoralgesellschaften einzuschätzen wurden unter Punkt (3) Phytoplankton, Zooplankton, Zoobenthos und Kleinfische auf ihre Artzusammensetzung, Biomasse und Abundanz untersucht. Diese Untersuchungen wurden unter der Leitung von Prof. Dr. V. Yakovlev (Leiter des Hydrobiologischen Labors des Instituts für Ökologie von Natursystemen, später Staatliche Universität Kazan, Institut für Zoologie) durchgeführt. Um den Sauerstoffeintrag durch *Typha angustifolia* zu quantifizieren wurde mit Hilfe von speziellen Sauerstoffsensoren im Substrat der *Typha*-Bestände gemessen. Diese Untersuchungen wurden durch die Universität Ulm unter Leitung von Prof. Dr. M. Kazda durchgeführt. Die Ergebnisse der Sauerstoffmessungen sind in einer weiteren Dissertation mit dem Titel „Sauerstoffdynamik im Wurzelraum von *Typha angustifolia*“ zusammengefasst (GÄNG 2006). Um die Prozesse, die auf die Pflanzen von *Typha angustifolia* an den Ufern des Kuibyschew-Reservoirs auch im Zusammenhang mit dem Sauerstoffeintrag wirken zu verstehen, wurden in weiteren Feldexperimenten Biomasse und Gaswechsel untersucht.

Im Einklang mit der Zielsetzung des Projektes war die Absicht der folgenden Arbeit, die Auswirkungen der Wasserspiegelschwankungen auf die Bestände der Untersuchungsart *Typha angustifolia* zu ermitteln. Weiterhin sollte geklärt werden, welche Anpassungen und Effizienzen diese Art auszeichnet, um die hohe Biomasseproduktion trotz dieser Umwelteinflüsse zu erreichen. Bisher sind keine Studien bekannt, die sich mit der Biomasseproduktion und mit den Gaswechselfvorgängen in natürlichen Beständen von *Typha angustifolia* im Hinblick auf Wasserspiegelschwankungen mit langanhaltenden Überschwemmungsperioden beschäftigen. Folglich wurde in einem Feldexperiment am Kuibyschew-Reservoir die Produktivität in Form von oberirdischer Biomasse und die

---

Gaswechselforgänge an drei Transektpunkten entlang eines Wassergradienten (Flach, Mittel, Tief) untersucht. Zusätzlich wurden zwei Versuchsflächen mit unterschiedlichem Nährstoffeintrag angelegt, um den Einfluss der Nährstoffverfügbarkeit auf die Parameter zu untersuchen. Um die Gaswechselforgänge intensiver zu durchleuchten wurde ein unterstützendes Experiment im Botanischen Garten an der Universität Ulm durchgeführt. Aus der grundsätzlichen Überlegung heraus, dass Wasserspiegelschwankungen *Typha angustifolia*-Bestände am Kuibyschew-Reservoir beeinflussen, sollten folgende Fragestellungen untersucht werden:

- (1) Reagieren biometrische Kenngrößen von *Typha angustifolia* auf unterschiedliche periodische Wasserstandsänderungen?
- (2) Haben Nährstoff-versorgte Standorte Einfluss auf biometrische Kenngrößen von *Typha angustifolia*?
- (3) Reagiert der  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -Gaswechsel von *Typha angustifolia* auf periodische Wasserstandsänderungen?
- (4) Haben besser Nährstoff-versorgte Standorte Einfluss auf den Gaswechsel von *Typha angustifolia*?
- (5) Beeinflussen die periodischen Wasserstandsänderungen die Kohlenstoffbilanzen der *Typha angustifolia*-Bestände?

---

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Untersuchungsgebiet

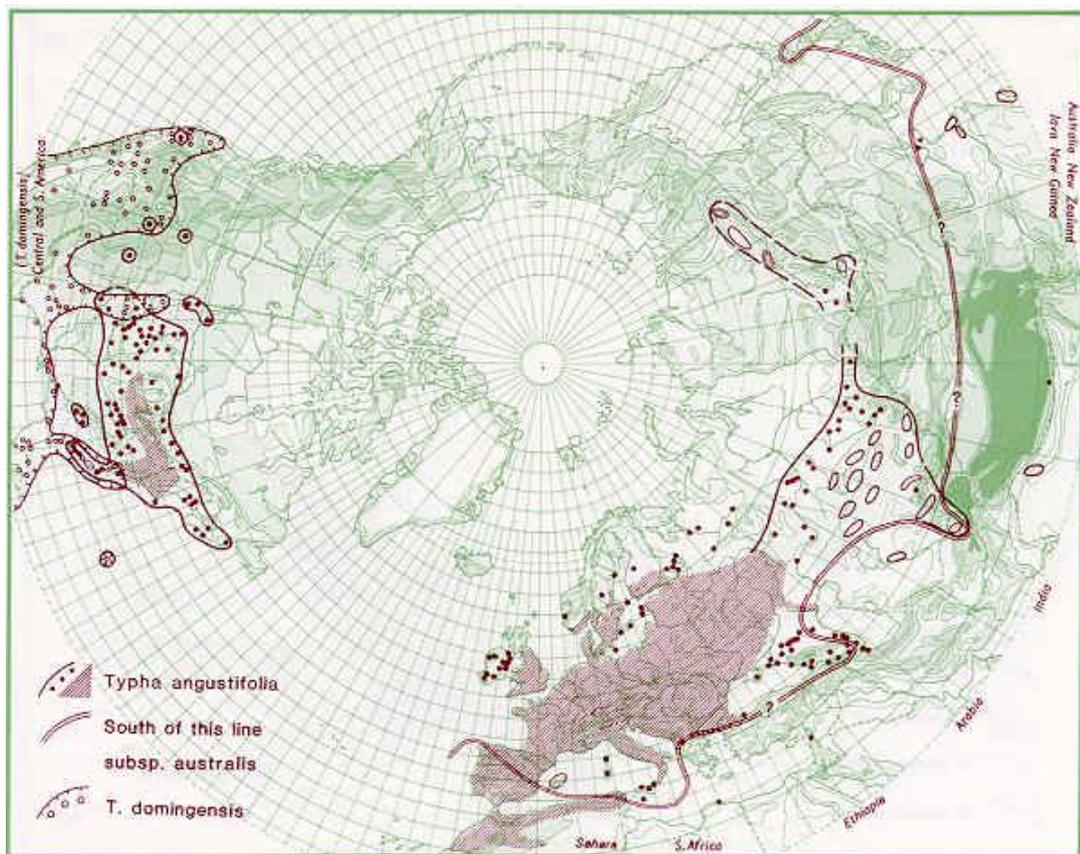
Die Untersuchungsflächen befanden sich am Kuibyschew-Reservoir in der Republik Tatarstan (Russische Föderation), etwa 800 km östlich von der russischen Hauptstadt Moskau (vgl. Abb. 10, Seite 20). Die Republik Tatarstan ist 68 000 km<sup>2</sup> groß. Sie liegt im östlichen Teil der Osteuropäischen Ebene. Das Gebiet hat daher hauptsächlich flachen Charakter (Mittlere Höhe 170 m NN). Die Bodenverhältnisse sind sehr unterschiedlich und reichen von Podsol-Böden im Norden und Westen bis zu verschiedensten Tschernosem-Böden (Schwarzerden) im Süden (SCHEFFER & SCHACHTSNABEL 1998). Die Vegetation ist gekennzeichnet durch eine Grenzregion von Taiga, sommergrünen Laubwäldern sowie der Baumsteppenzone (STRASBURGER 1993). Allerdings sind nur 16 Prozent der Republik Tatarstan, hauptsächlich mit Eichen-Lindenwäldern, bewaldet. Das Kuibyschew-Reservoir ist mit einer Fläche von 6448 km<sup>2</sup> und einem Volumen von 58 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser das größte einer mit insgesamt acht Stauseen errichteten Wolgakaskade (MALIK et al. 2000). Das Reservoir ist außerdem das größte Europas. Der Stausee erstreckt sich auf einer Länge von 650 km zwischen Kazan und dem 45 m hohen und 3781 m langen Staudamm bei Toljatti (Region Samara; Siehe auch Abb. 4; Seite 16) (MALIK et al. 2000). Das Wasserkraftwerk wurde 1958 fertig gestellt. Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme war dieses das größte Wasserkraftwerk der Welt.

### 2.2. Klima

Das Klima in der Republik Tatarstan ist moderat kontinental mit warmen, manchmal heißen Sommern und kalten Wintern. Nach der Klimaklassifikation von Wladimir Köppen wird das Klima von Kazan als winterfeuchtkaltes Klima mit warmen Sommern beschrieben (HEYER 1993; siehe Abb. 7; Seite 18). Die Jahresdurchschnittstemperatur für die Region Kazan beträgt +3,8 °C mit einer Durchschnittstemperatur im Januar von -13 °C und im Juli von +19,6 °C (siehe Abb. 7; Seite 18). Die mittlere Jahresniederschlagsmenge beträgt 548 mm pro Jahr, wovon zwei Drittel im Sommer und Frühling fallen. Die Vegetationsperiode dauert circa 170 Tage pro Jahr.



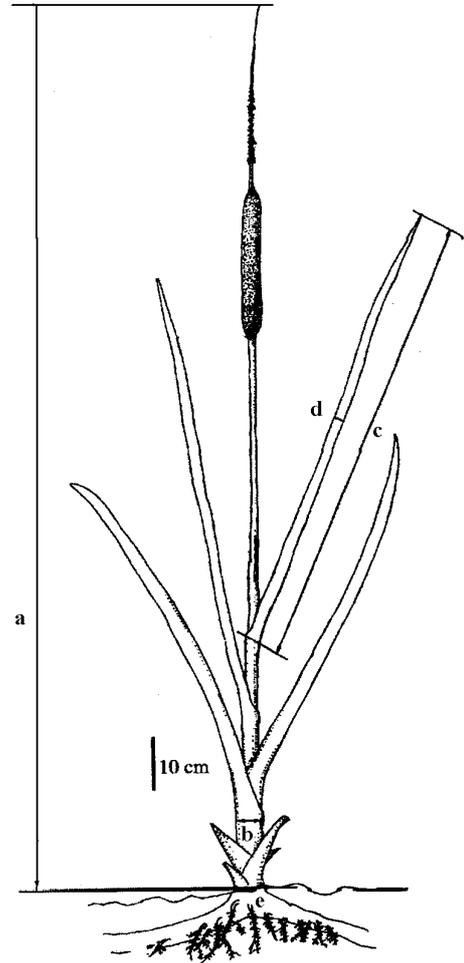
**Abbildung 4:** Der 45 m hohe und 3,8 km breite Staudamm des Kuibyschew-Reservoirs bei Toljatti in der Region Samara. Er wurde 1958 fertig gestellt und bis 1960 gefüllt. Er galt damals als der größte Staudamm der Welt (Kapazität: 2,3 Gigawatt). Angaben nach MALIK et al. 2000, Bildquelle: Anonym.



**Abbildung 5:** Verbreitungskarte von *Typha angustifolia* nach HULTÉN & FRIES (1986). Ihr Areal beschränkt sich auf Ostamerika, Europa und Westasien sowie Nordafrika.

### 2.3. Charakteristik der Untersuchungsart *Typha angustifolia* L.

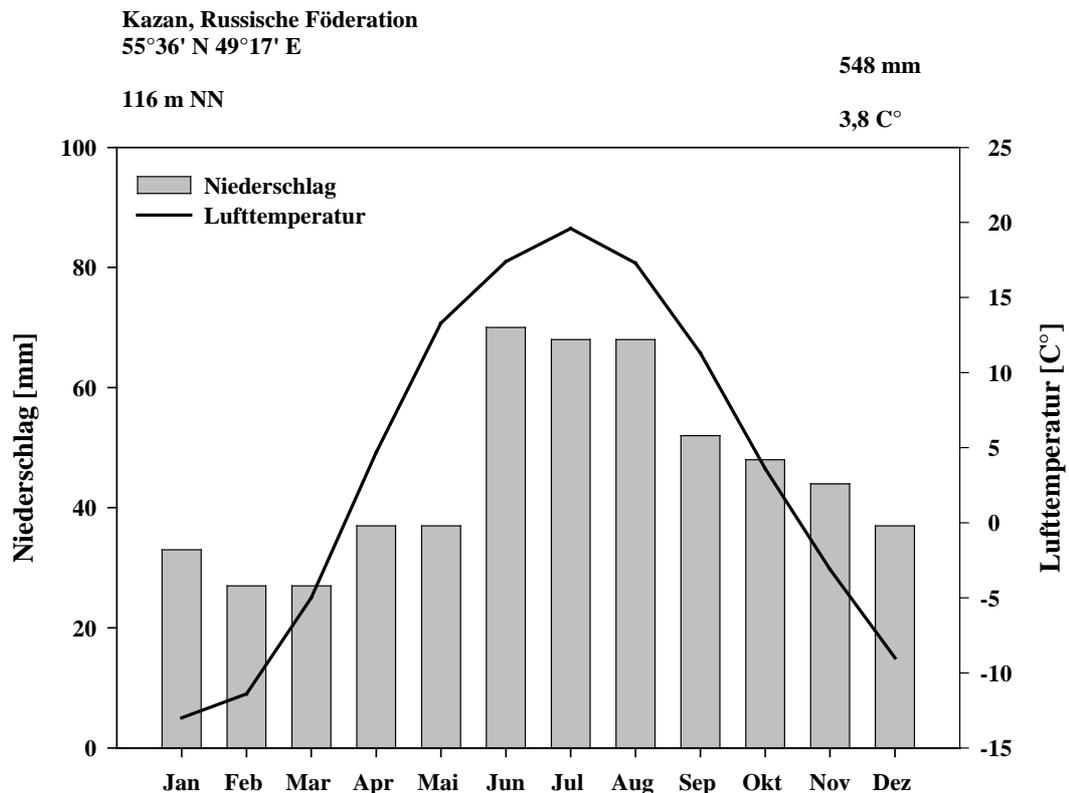
*Typha angustifolia* L. (deutsch: schmalblättriger Rohrkolben, russisch: рогоз узколистный, englisch: narrow-leaved cattail) gehört zu der Familie der *Typhaceae*. Die Gattung *Typha* ist mit 9 bis 18 Arten weltweit verbreitet und wegen ihrer Variabilität der Reproduktion und des vegetativen Charakters sowie der Hybridisierung schwer eindeutig zu differenzieren (KIM et al. 2003). Die Gattung wurde durch Linné 1753 das erste Mal beschrieben. *Typha angustifolia* ist in Teichröhrichten, Gräben, eutrophen und mesotrophen Gewässern zu finden (JÄGER & WERNER 2000). Sie ist die Kennart der Assoziation *Typhetum angustifoliae* (All 1922) Pign. 1953 – Schmalblattrohrkolben-Röhricht. *Typha angustifolia* ist brackwasserertragend (JÄGER & WERNER 2000). Ihr natürliches Areal beschränkt sich auf die meridionale bis temperate, subozeanische Zone Ostamerikas, Europas und Westasiens (JÄGER & WERNER 2002).



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung einer *Typha*-Pflanze (Stängel) – a: Höhe des vegetativen Sprosses; b: Basisdurchmesser; c: Länge des Blattes; d: Blattbreite; e: Rhizom (Verändert nach KIM et al.(2003))

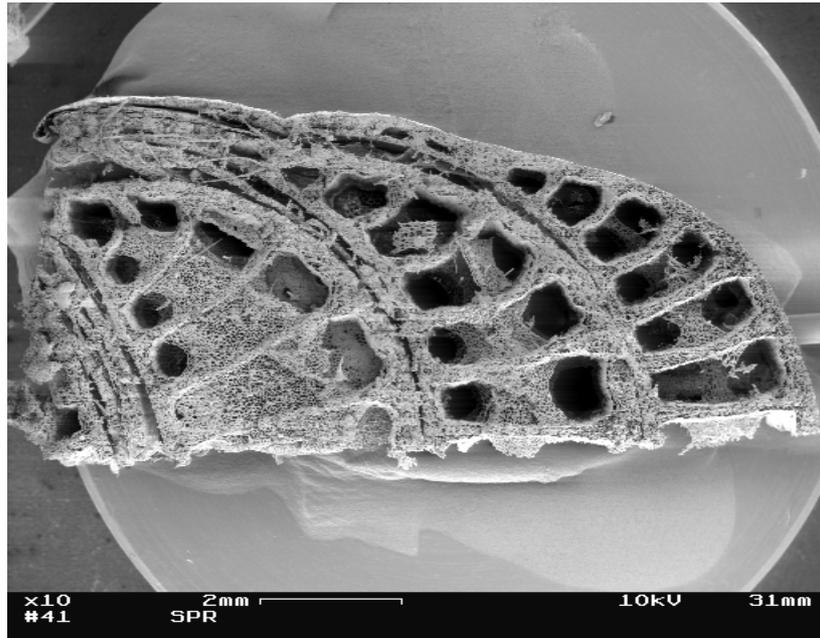
Nach GUBANOV et al. (2002) sowie HULTÉN & FRIES (1986) ist sie auch in Nordafrika zu finden (siehe auch Abb. 5). Die Art ist erst seit 1800 in Nordamerika verbreitet und gilt dort als Neophyt (sensu SELBO & SNOW 2004, VACCARO 2005). *Typha angustifolia* ist ein Hydrophyt, der eine maximale Höhe von ein bis drei m (HEGI 1980, JÄGER & WERNER 2002) und nach anderen Angaben auch Höhen bis zu 4,5 m erreichen kann (GUBANOV et al. 2002). Die Blätter sind länglich, (3)-5-8-(10) mm breit, sommergrün und helomorph (mit vielen Stomata und Leitbündeln pro Fläche, KLOTZ et al. 2002). Die

Blätter akkumulieren basal und bilden Scheinsprosse, die sich später wieder teilen (Abb. 6). Da es sich definitionsgemäß bei diesen Scheinsprossen durch die Rametenbildung der Pflanzen nicht um „Pflanzen“ im eigentlichen Sinne handelt, werden sie im Folgenden mit „Stängel“ bezeichnet. Die Blüten sind monözisch und werden im Juli und August durch Wind bestäubt. Charakteristisch sind die weiblichen und die männlichen Kolben durch einen zwei bis neun Zentimeter langen blütenlosen Abschnitt getrennt (HEGI 1980). Die Pflanzen vermehren sich einerseits durch Samen, wobei die nussigen Früchte durch Wind ausgebreitet werden, andererseits vegetativ, indem sie Ausläufer-Rhizome bilden, die auch als Speicherorgane dienen (GRACE & HARRISON 1986). Charakteristisch für *Typha angustifolia* ist die Ausbildung von Interzellularräumen zum Gastransport, den Aerenchymen<sup>1</sup> (siehe Abb. 8, Seite 19). Die Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1992) geben für *Typha angustifolia* folgende Eingruppierung wider: Lichtzahl 8, Temperaturzahl 7, Kontinentalitätszahl 5, Feuchtezahl 10, Reaktionzahl 7, Stickstoffzahl 7 und Salzzahl 1.



**Abbildung 7:** Klimadiagramm nach der Klimaklassifikation von Wladimir Köppen für Kazan (Langjähriges Mittel 1961-1990, modifiziert nach STRÄßER 1998). Es handelt sich um ein winterfeuchtkaltes Klima mit warmen Sommern.

<sup>1</sup> Zur Entstehung, Gastransport und Bildung von Aerenchymen siehe Review von EVANS (2003) und COLMER (2003).



**Abbildung 8:** Typisches Aerenchym eines viertel Stängelquerschnitts von *Typha angustifolia* (zehnfache Vergrößerung, Abbildung: N. Gäng)

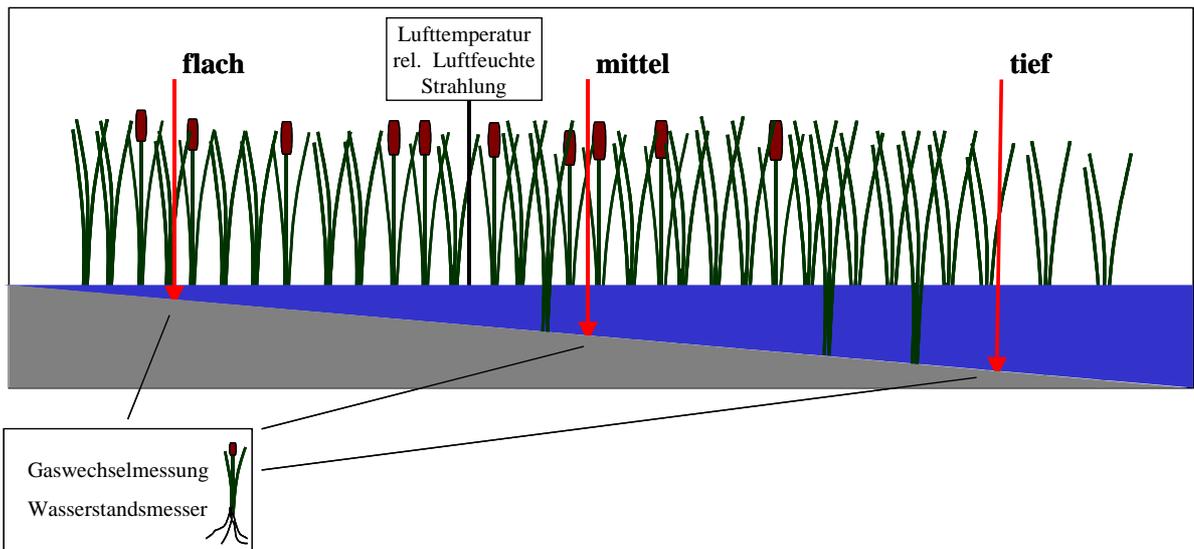
## 2.4. Untersuchungsflächen

### 2.4.1. Lage der Untersuchungsflächen

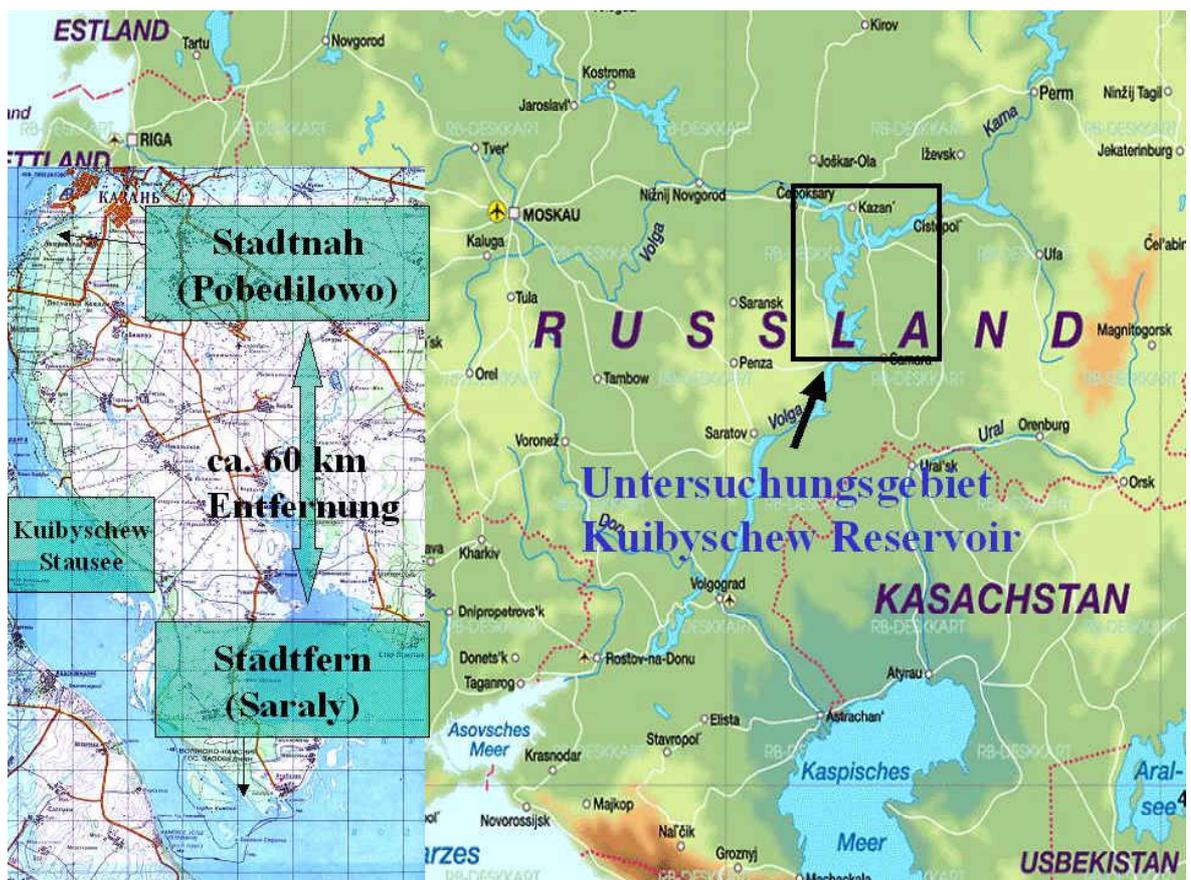
Im Untersuchungsgebiet Kuibyschew-Reservoir wurden zwei Untersuchungsflächen eingerichtet, die sich auf Grund anthropogenem Einflusses und Nährstoffeintrags unterschieden (vgl. Tab. 4; Seite 27 und Abb. 12; Seite 25, Abschnitt 2.4.2.). Die erste Untersuchungsfläche wurde am Ufer einer Insel im Kama-Wolga-Naturschutzgebiet (Zapovetnik = höchstmögliche russische Schutzgebietskategorie - wissenschaftliches Reservat) in der Nähe der Ortschaften Saraly und Atabajewo circa 60 km südlich der Stadt Kazan eingerichtet (Abb. 10; Seite 20). Die Insel lag im Bereich des Zusammenflusses von Wolga und Kama. Die Untersuchungsfläche befand sich am Westufer der Insel. Im Folgenden wird diese Untersuchungsfläche mit dem Namen der benachbarten Ortschaft „Saraly“ bezeichnet.

**Tabelle 1:** Geographische Position sowie Exposition, Breite und Gefälle des *Typha angustifolia*-Röhrichts auf den Untersuchungsflächen.

| U-Fläche   | Position          | Röhrichtbreite | Exposition | Gefälle |
|------------|-------------------|----------------|------------|---------|
| Pobedilowo | 55°42' N 49°02' E | ca. 26 m       | Südost     | 2,1 %   |
| Saraly     | 55°16' N 49°18' E | ca. 30 m       | Südwest    | 1,5 %   |



**Abbildung 9:** Schematischer vertikaler Querschnitt des Transekts auf beiden Untersuchungsflächen (Pobedilowo, Saraly) mit Transektpunkten (flach, mittel, tief), an denen Gaswechselfmessungen und Wasserstandsmessungen durchgeführt wurden.



**Abbildung 10:** Übersichtskarte zur Lage des Untersuchungsgebiets in der Russischen Föderation und der Untersuchungsflächen, die sich zirka 60 km voneinander entfernt befinden. (Quelle: RB DESKKART und Topographische Karten, Republik Tatarstan 2000)

Die nährstoffreichere, anthropogen beeinflusste Untersuchungsfläche am südlichen Stadtrand von Kazan befand sich in einer Bucht des Kuibyschew-Reservoirs, in das städtisches Wasser des Stadtsees Kaban einfließt. Die Fläche wurde außerdem durch den Einfluss des eutrophierten Flusses Kazanka beeinflusst. Die Untersuchungsfläche wird im Folgenden mit dem Namen der benachbarten Ortschaft „Pobedilowo“ bezeichnet.

Beide Flächen unterschieden sich neben ihrem Nährstoffeintrag in ihrer Exposition und ihrem Gefälle sowie in der Breite des *Typha angustifolia*-Röhrichts (Tab. 1).

Für die Messungen wurden auf beiden Flächen drei Transektpunkte eingerichtet (Abb. 9). Der erste Transektpunkt wurde mit „flach“ bezeichnet, da er maximal zwischen 60-100 cm mit Wasser überschwemmt wurde (Abb. 9). Die zwei weiteren Transektpunkte „mittel“ (maximal 80-120 cm) und „tief“ (maximal 100-140 cm), die im Inneren des Röhrichts lagen, wurden durchschnittlich länger und höher überschwemmt (Abb. 9).

#### **2.4.2. Beschreibung der Untersuchungsflächen**

Die Untersuchungsflächen wurden im Hinblick auf die Pflanzenvergesellschaftung und die Botanik (Prof. Golubeva; Arbeitsgruppe Prof. Yakovlev) sowie hinsichtlich des Bodens, der Boden- und Wasserchemie (Arbeitsgruppe Dr. Ivanov) und der Hydrobiologie (Arbeitsgruppe Prof. Yakovlev) durch unterschiedliche Arbeitsgruppen innerhalb des Projektes untersucht.

##### Botanik

Unterschiedliche Wasserspiegelschwankungen von Jahr zu Jahr sind ein wichtiger Faktor für die Ausbildung der Diversität der Pflanzen an den Uferbereichen von Gewässern. Starke Hochwasserperioden können Sträucher und Bäume am Uferbereich zurückdrängen, während Niedrigwasserperioden Pflanzensippen erlauben, sich über Samen zu regenerieren. So entstehen an den Uferbereichen aus Zwei-Zonen-Systemen Vier-Zonen-Systeme (KEDDY & FRASER 2000, KEDDY 2000). Uferbereiche mit einem Zwei-Zonen-System bestehen dabei aus einer Gehölzgesellschaft (Sträucher und kleine Bäume) und aquatischen Gesellschaften. Die Wasserspiegelschwankungen sind periodisch und anuell schwach. Bei starken periodischen und anuellen Wasserspiegelschwankungen entstehen Vier-Zonen-Systeme, die aus einer Gehölzgesellschaft, die durch eine Feuchtwiese und einen Röhricht abgelöst werden, sowie aquatischen Vergesellschaftungen bestehen. Beide Untersuchungsflächen lagen an für lang andauernde und unterschiedlich



**Abbildung 11:** Lage der Untersuchungsflächen Pobedilowo (Obere Abbildung; Koordinaten: 55°16'N 49°18'E) und der Untersuchungsfläche Saraly (Untere Abbildung; Koordinaten: 55°42'N 49°02'E). Die roten Pfeile zeigen die Lage der Untersuchungsflächen an, die roten Umrandungen die benachbarten Ortschaften und der blaue Pfeil den Einfluss von kommunalem Abwasser. (Quelle: Topographische Karten, Republik Tatarstan 2000)

starke Wasserspiegelschwankungen typischen Uferbereichen. Die Strauch- und Baumgesellschaften waren weit vom Ufer entfernt und waren durch zeitweise überflutete Sumpf- oder Feuchtwiesen von dem Röhricht getrennt. Im Fall der beiden Untersuchungsflächen waren dies Uferweidengebüsche, dominiert von Korbweiden (*Salix viminalis*), sie wurden durch Großseggen-Riede, dominiert durch *Phalaris arundinacea*, abgelöst. Weitere Arten dieser zeitweise leicht überfluteten Gesellschaft waren unter anderem *Lycopus europaeus*, *Achillea ptarmica*, *Alisma plantago-aquatica*, *Lythrum salicaria*, *Lysimachnia vulgaris* und *Stachys palustris*. Diese artenreiche Gesellschaft wurde durch Röhrichtgesellschaften, vorerst durch *Phragmites australis* und *Glyceria maxima* dominiert, getrennt. Neben vereinzelt *Typha angustifolia*-Stängeln konnte man hier auch Pflanzen von *Persica amphibia*, *Alisma plantago-aquatica*, *Ranunculus scleratus*, *Rumex maritimus*, *Alopecurus geniculatus*, *Tripleurospermum inodorum* oder

**Tabelle 2:** Zusammenstellung der prozentualen Gewichtsanteile des Feinbodens in einzelnen Bodentiefen an den Untersuchungsflächen im *Typha angustifolia*-Bestand. Aus den einzelnen Fraktionen ergibt sich die Ansprache der Bodenart aus dem Dreieckskoordinatensystem. (nach SCHEFFER & SCHACHTSCHNABEL 1998 und ENSSLIN et al. (2000), Ergebnisse der Projektarbeitsgruppe Ivanov).

|            |            | Partikelanteil [%] |                      |                  |                            |
|------------|------------|--------------------|----------------------|------------------|----------------------------|
| U-Fläche   | Bodentiefe | Sand <sup>1</sup>  | Schluff <sup>2</sup> | Ton <sup>3</sup> | Bodenart<br>Klassifikation |
| Pobedilowo | 0-10 cm    | 70,8               | 16,4                 | 12,8             | lehmiger Sand              |
|            | 30-40 cm   | 51,0               | 18,8                 | 30,2             | sandiger Lehm              |
|            | 50-60 cm   | 40,6               | 13,2                 | 46,2             | sandiger Ton               |
| Saraly     | 0-10 cm    | 61,6               | 19,1                 | 19,4             | sandiger Lehm              |
|            | 30-40 cm   | 39,4               | 12,6                 | 48,0             | tonig, sandiger<br>Lehm    |
|            | 50-60 cm   | 58,2               | 9,3                  | 32,5             | sandiger Ton               |

**Tabelle 3:** pH-Wert und prozentualer Anteil von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor am Trockengewicht des Feinbodens ohne „Schlickauflage“ in einzelnen Bodentiefen an den Untersuchungsflächen im *Typha angustifolia*-Bestand (Ergebnisse der Projektarbeitsgruppe Dr. Ivanov).

| U-Fläche   | Bodentiefe | pH   | C [%] | N [%] | P [%] |
|------------|------------|------|-------|-------|-------|
| Pobedilovo | 0-10       | 4,87 | 1,85  | 0,086 | 0,12  |
|            | 10-20      | 5,97 | 1,63  | 0,055 | 0,08  |
|            | 20-30      | 6,64 | 2,13  | 0,020 | 0,10  |
|            | 40-50      | 5,89 | 2,51  | 0,026 | 0,07  |
| Saraly     | 0-10       | 5,68 | 1,63  | 0,020 | 0,09  |
|            | 10-20      | 6,20 | 1,36  | 0,308 | 0,06  |
|            | 20-30      | 5,72 | 2,44  |       |       |
|            | 40-50      | 6,42 | 1,83  | 0,028 | 0,09  |

<sup>1</sup> Sand (1-0,01 mm)

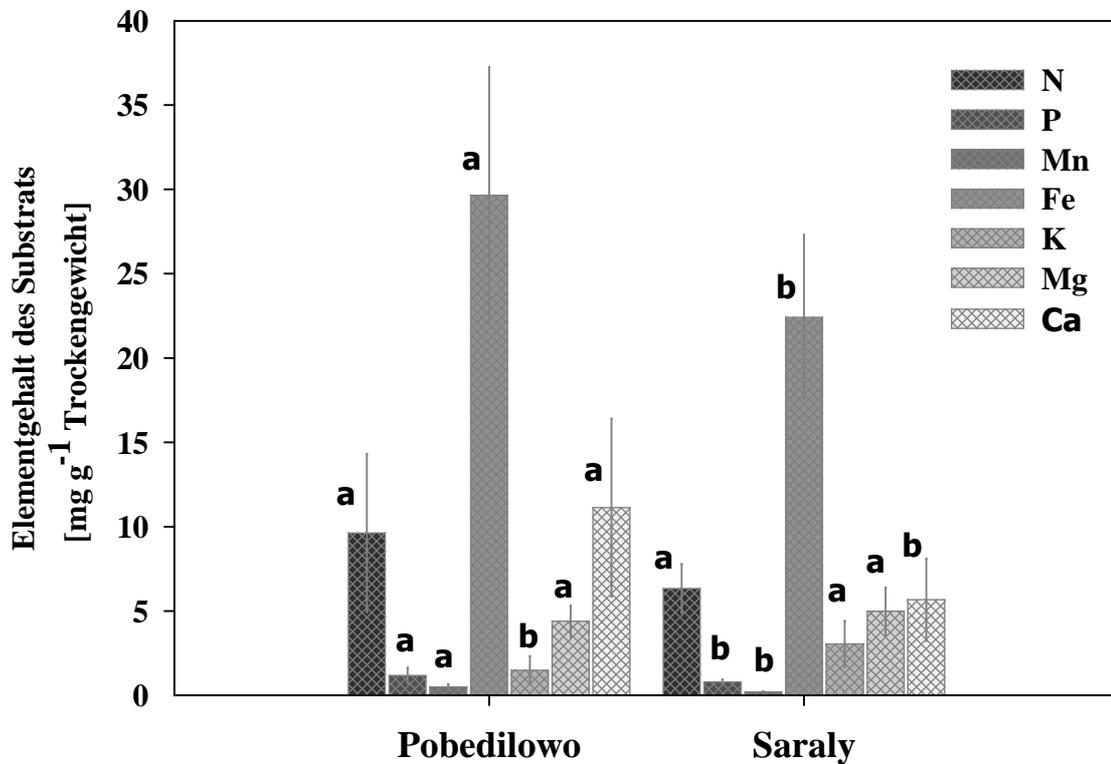
<sup>2</sup> Schluff (0,01-0,001 mm)

<sup>3</sup> Ton (<0,001 mm)

*Oenanthe aquatica* finden. Diese Gesellschaft wurde gefolgt von dem eigentlichem Untersuchungsobjekt, dem Schmalblattrohrkolben-Röhricht (*Typhetum angustifoliae* (All 1922) Pign. 1953), in dem *Typha angustifolia* zum Teil 100 Prozent dominant auftrat (SCHUBERT et al. 2001). Hier war die Wasseroberfläche stark besiedelt durch eine Reihe von Schwimmpflanzen wie Wasser- und Teichlinsen (*Lemna minor*, *Lemna trisulca*, *Salvinia natans* und *Spirodela polyrhiza*). Ebenfalls waren Lücken durch Pflanzen von *Oenanthe aquatica*, *Butomus umbellatus*, *Alopecurus geniculatus*, *Potamogeton natans*, *Rorippa amphibia*, *Ranunculus sceleratus*, *Alisma plantag-aquatica* besiedelt. Im tieferen (über einem Meter Tiefe) offenen Wasserbereich war dann die Gesellschaft des durchwachsenen Laichkrauts (*Potamogeton perfoliatus*) zusammen mit *Ceratophyllum demersum* zu finden.

### Boden

Um die Bodenkörnung des Feinbodens und die Bodenchemie zu untersuchen, wurden von der „Arbeitsgruppe Dr. Ivanov“ Bodenproben bis zu einer Bodentiefe von 60 cm entnommen. Dementsprechend wurden nur der Oberboden und Teile des Unterbodens einbezogen. Dabei wurde die oberste, circa 7 cm starke „Schlickauflage“, bestehend aus alten Pflanzenresten, nicht berücksichtigt. Ebenfalls ist zu beachten, dass die Einteilung der Korngrößen nach russischen Standards erst bei 1 mm beginnt. Die fluviale Sedimentation ist sehr instabil und reagiert sensibel auf Veränderungen des Wasserzustands und auf den geomorphologischen Untergrund. Die Ergebnisse zeigten, dass *Typha angustifolia*-Bestände einen größeren Anteil an Feinpartikeln und organischem Material im Oberboden akkumulieren. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch schon HORPPILA & NURMINEN (2001) für *Typha angustifolia*-Bestände bei einem flachen finnischen See. Die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung innerhalb der *Typha angustifolia*-Bestände sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Bodenart wurde nach SCHEFFER & SCHACHTSCHNABEL (1998) nach dem Dreieckskoordinatensystem angesprochen. Der Tonanteil nahm vertikal mit zunehmender Tiefe zu. Der Sandanteil des Feinbodens war in allen Fraktionen hoch. Auf beiden Untersuchungsflächen war demnach der Oberboden ein sandiger Lehmboden und der Unterboden ein sandiger Tonboden. Die Bodenarten in den einzelnen Schichten unterschieden sich nur sehr gering zwischen den Untersuchungsflächen.



**Abbildung 12:** Zusammensetzung des obersten Bodenauflage (Schlickauflage: 0-10 cm) auf beiden Untersuchungsflächen im *Typha angustifolia*-Bestand. Die Balken mit Fehler symbolisieren Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $n = 9$ . Die unterschiedlichen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Flächen ( $p < 0.05$ ).

Die Ergebnisse der „Projektgruppe Dr. Ivanov“ zeigten, dass sich die beiden Untersuchungsflächen in der Zusammensetzung der Nährstoffe des Bodens, besonders in der „Schlickauflage“, signifikant unterschieden (Abb. 12). Die oberste Bodenauflage der Untersuchungsfläche Pobedilowo war signifikant reicher an Phosphor und Calcium sowie Metallen wie Eisen und Mangan. Dagegen war die oberste Bodenauflage der Untersuchungsfläche Saraly signifikant reicher an Kalium. Die prozentualen Anteile in den tieferen Schichten des Bodens an Stickstoff und Phosphor waren auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo deutlich höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly (Tab. 3). Die Acidität des Bodens auf beiden Untersuchungsflächen (zwischen pH 5-6) ist untypisch für Böden des Kuibyschew-Reservoirs, sie liegt normalerweise zwischen pH 6,5-7,5. Der Oberboden auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo war saurer als der auf der Untersuchungsfläche Saraly.

## Wasser

Wichtigstes Charakteristikum eines Standgewässer-Ökosystems ist sein Trophiegrad (KLAPPER 1992). Nach ELSTER (1962) wird als Trophiegrad die Intensität der autothrogenen Produktion organischer Substanz, berechnet als Glucose und gemessen mit Hilfe der  $C_{14}$ -Methode, ausgedrückt als Gramm assimilierter Kohlenstoff pro Quadratmeter und Zeit, bezeichnet. Laut Definition für Trophie bedeutet Eutrophierung eine Steigerung der pflanzlichen Primärproduktion, hervorgerufen durch eine Zunahme der Nährstoffkonzentration oder durch eine erhöhte Nutzbarkeit der Nährstoffe im Gewässer (SCHWOERBEL 1999). Die Eutrophierung kann ein natürlicher Prozess sein oder anthropogen verursacht werden. Die Eutrophierung bedeutet eine Störung des biologischen Gleichgewichts (KLAPPER 1992). Um die Trophie eines Gewässers zu bestimmen, können neben der oben genannten Methode auch wasserchemische Daten, Phytoplanktonbiomasse oder Vorkommen von bestimmten Tierspezies herangezogen werden. Durch die Projektgruppe Dr. Ivanow wurde die Wasserchemie während der Vegetationsperiode mindestens im zweiwöchigen Rhythmus beprobt. Dabei wurden neben dem pH-Wert der Nitrat-, Ammonium-, Sulfat- und Chloridgehalt des Wassers bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 13 (Seite 28) und Abbildung 14 (Seite 29) dargestellt. Danach lag der pH-Wert des Wassers während der Vegetationsperioden auf beiden Untersuchungsflächen im neutralen bis basischen Bereich (pH 6 bis pH 9). Dies war ein Zeichen für ein eutrophes Gewässer, in dem der pH-Wert im basischen Bereich zu finden ist (zwischen pH 7 und pH 8). Der pH-Wert sank auf beiden Untersuchungsflächen gleichzeitig signifikant von Untersuchungsperiode zu Untersuchungsperiode ab. Während er noch in der ersten Untersuchungsperiode 2002 im Mittel bei pH 7,9 lag, sank er in der Untersuchungsperiode 2003 auf Werte um pH 7,2 und in der Untersuchungsperiode 2004 auf Werte um pH 6,6. Die Gehalte an Nitrat und Ammonium im Wasser waren im Jahresverlauf auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly. Zwischen den Untersuchungsperioden bestanden keine Unterschiede. Der Phosphat-, Sulfat- und Chloridgehalt des Wassers der Untersuchungsfläche Pobedilowo war höher als der entsprechende Wert auf der Untersuchungsfläche Saraly. Abgesehen vom Phosphatgehalt änderte sich diese Tendenz nicht zwischen den Untersuchungsperioden. Wie schon beim pH-Wert sank auch der Phosphatgehalt auf beiden Untersuchungsflächen von 2002 bis 2004 ab. Der

Phosphatgehalt der Untersuchungsperiode 2004 war nicht höher als  $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ . Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse der Wasserchemie, dass beide Untersuchungsflächen im euthrophen Bereich anzusiedeln waren, aber die Fläche Pobedilowo deutlich euthropher war als die Fläche Saraly.

Durch die Arbeitsgruppe Prof. Yakovlev wurden begleitend zur Analyse der Wasserchemie biologische Methoden verwendet, um die Trophie des Gewässers einzuschätzen. Dazu wurden drei übliche Indices errechnet. Zum einem handelte es sich um den Saprobieindex (SLADECEK 1973), zum anderen um den Shannon-Diversitäts-Index ( $H_N$ ) und den Index des trophischen Status (*ITS*). Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Bei dem Saprobieindex wird der Grad der Verschmutzung eines Wasserkörpers durch organisches Material in eine polysaprobe Zone (Wert von 3,5 bis 4,0), eine mesosaprobe Zone (Wert 3,5 bis 1,5) und in eine oligosaprobe Zone (Wert 1,0 bis 1,5) eingeteilt. Die Artanzahl und die Verteilung der Arten innerhalb der Gesellschaft wurde mit Hilfe des Shannon-Diversitäts-Indexes ( $H_N$ ) berechnet. Des Weiteren wurde der Index des trophischen Status (*ITS*) berechnet. Mit diesem war es möglich, den Trophiegrad des Wassers, basierend auf der Phytoplanktonbiomasse, abzuschätzen. Dabei wurde der Wasserkörper mit einem niedrigeren *ITS* als 30 als oligotroph gewertet. Ein *ITS* von 30 bis 60 wurde als mesotroph und ein *ITS* über 60 als eutroph gewertet.

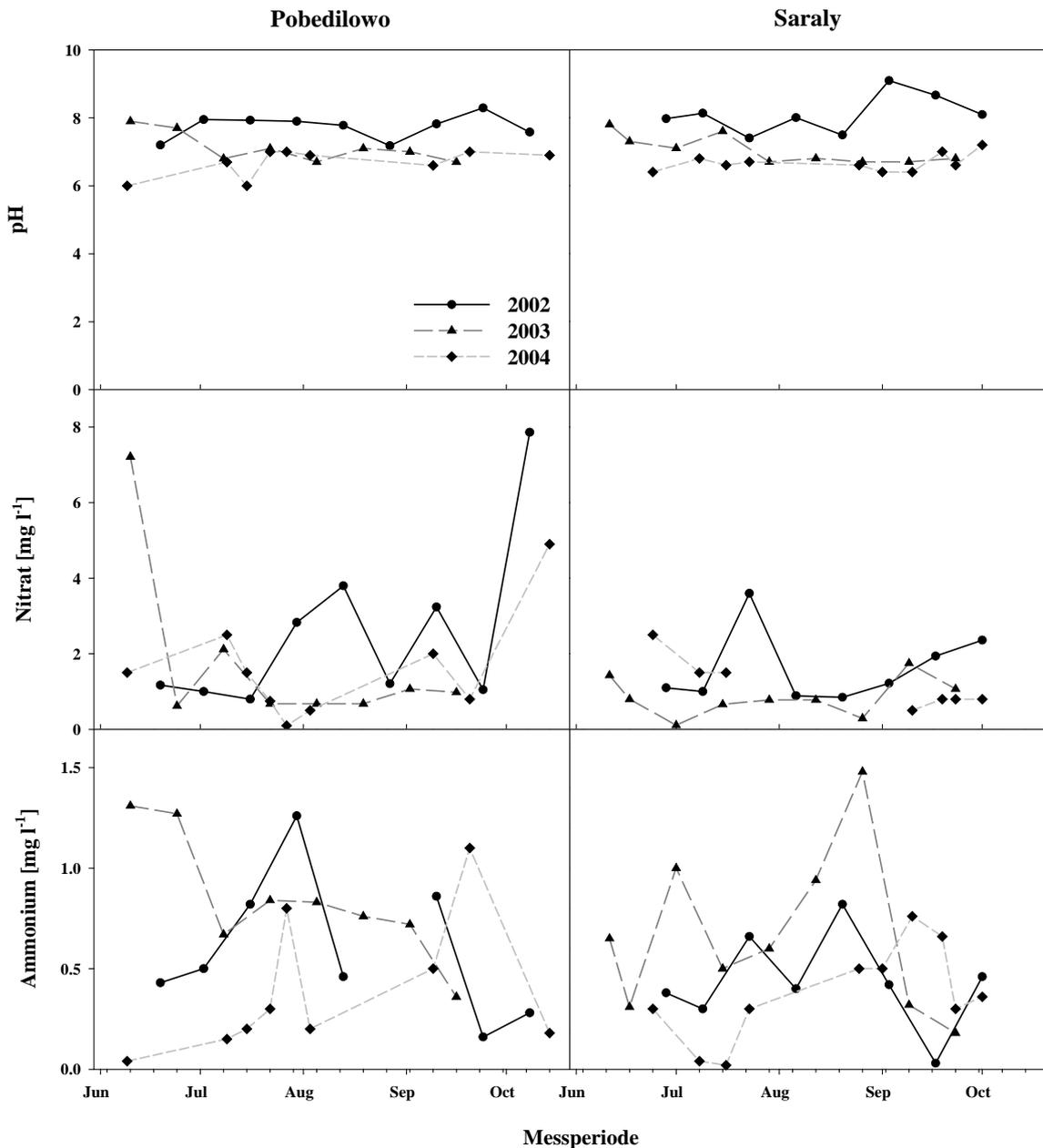
**Tabelle 4:** Mittelwerte mit Standardabweichung ( $M \pm \text{Stdw}$ ), Median sowie Maximum- und Minimumwerte der aus den Ergebnissen des Phytoplanktons (Zusammensetzung und Biomasse) der Untersuchungsperioden 2002 und 2003 errechneten Indices: Shannon-Diversitäts-Index ( $H_N$ ), Saprobieindex (*S*) und der Index des Trophischen Status (*ITS*). (Ergebnisse der Arbeitsgruppe Prof. Yakovlev)

| Index      | Pobedilowo          |        |           | Saraly              |        |           |
|------------|---------------------|--------|-----------|---------------------|--------|-----------|
|            | $M \pm \text{Stdw}$ | Median | Max-Min   | $M \pm \text{Stdw}$ | Median | Max-Min   |
| $H_N$      | $2,36 \pm 0,18$     | 2,35   | 1,03-4,05 | $2,62 \pm 0,23$     | 2,41   | 0,55-4,25 |
| <i>S</i>   | $1,73 \pm 0,06$     | 1,75   | 0,85-2,45 | $1,74 \pm 0,03$     | 1,76   | 1,45-2,29 |
| <i>ITS</i> | $80,9 \pm 1,7$      | 78,5   | 65-96,5   | $73,3 \pm 1,4$      | 71,3   | 61,6-85,3 |

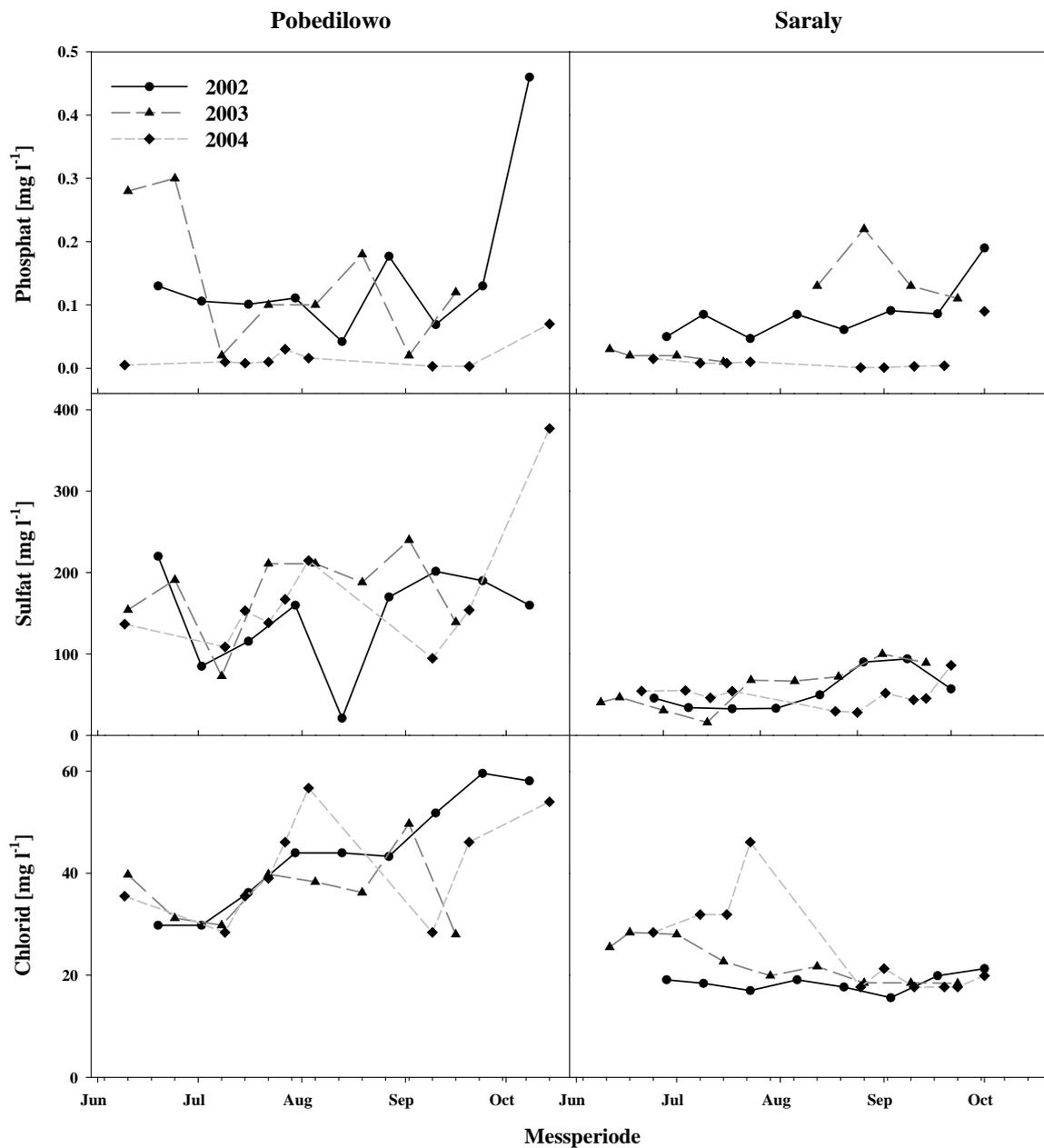
Auch die Ergebnisse der errechneten Indices zum Trophiestatus des Gewässers zeigten einen euthrophen Wasserkörper auf beiden Untersuchungsflächen an. Der Saprobieindex (*S*) fiel auf beiden Flächen gleich aus und erlaubte eine Einordnung der Untersuchungsflächen in den mesotrophen Bereich. Der Shannon-Diversitäts-Index zeigte auf beiden Flächen ebenfalls ähnliche Wasserbedingungen an. Der Shannon-Diversitäts-

Index und der *ITS* wiesen die Untersuchungsflächen einem eutrophen Bereich zu. Der *ITS* auf der Fläche Pobedilowo war signifikant höher als der *ITS* der Fläche Saraly.

Zusammenfassend konnten beide Untersuchungsflächen in einen nährstoffreichen und eutrophen Bereich eingeordnet werden. Allerdings konnte die Untersuchungsfläche Pobedilowo als nährstoffreicher und in einen höherem Trophiestatus eingestuft werden.



**Abbildung 13:** Ergebnisse der wasserchemischen Untersuchungen für pH, Nitrat und Ammonium während der Untersuchungsperioden 2002-2004 im zeitlichen Verlauf. (Ergebnisse der Projektarbeitsgruppe Dr. Ivanov)



**Abbildung 14:** Ergebnisse der wasserchemischen Untersuchungen für Phosphat, Sulfat und Chlorid während der Untersuchungsperioden 2002-2004 im zeitlichen Verlauf (Ergebnisse der Projektarbeitsgruppe Dr. Ivanov)

## 2.5. Mikroklima

Das Wachstum der Pflanzen, ihre Produktivität und ihr Überleben ist eng verknüpft mit ihrer Umwelt, hauptsächlich der Umgebungsluft. Dabei spielen Prozesse wie Energieaustausch, Kohlenstoffgewinn via Photosynthese und der Verlust von Wasserdampf durch Transpiration eine zentrale Rolle. Um diese Prozesse besser mit den untersuchten Parametern zu verknüpfen ist es unumgänglich, mikroklimatische Parameter zu messen.

**Tabelle 5:** Tabelle der in der Mikroklimastation verwandten Sensoren (Identisch auf beiden Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly).

| Mikroklimatischer Parameter             | Anzahl | Loggfrequenz | Montage                     | Sensortyp          | Hersteller                            |
|---|--------|--------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Lufttemperatur und Relative Luftfeuchte | 1      | 0,5 h        | Klimahaus in ca. 1 m Höhe   | Rotronic Hydroclip | Rotronic AG, Deutschland              |
| Bodentemperatur in 10 cm Tiefe          | 3      | 1 h          | Je Transektpunkt            | SKTS 200           | Skye Instruments Ltd., Großbritannien |
| Photosynthetisch Aktive Strahlung (PAR) | 1      | 0,5 h        | Dach Klimahaus ca. 1 m Höhe | LI-190SZ Quatum    | LI-COR, Nebraska USA                  |

Zur Erfassung von mikroklimatischen Parametern während der Vegetationsperiode von Anfang Juni bis Ende September wurde auf jeder Untersuchungsfläche ein Datenlogger (Delta T, Burnell, Großbritannien) installiert. An jeder Klimastation wurden Strahlung (Photosynthetisch Aktive Strahlung, PAR), Lufttemperatur, Relative Luftfeuchte und Bodentemperatur gemessen. Die montierten Sensoren der Datenlogger sowie deren Loggfrequenz sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die Datenlogger wurden in Klimahäuschen auf den Untersuchungsflächen untergebracht und alle zwei bis drei Wochen ausgelesen. Alle Messwerte wurden in Moskauer Sommerzeit (MSD) geloggt. Die Berechnung der Tagesmittel wurden nach internationalem Standard aus 24 Stundenwerten durchgeführt (Deutscher Wetterdienst 2001).

In der Untersuchungsperiode 2002 verzögerte sich die Installation der Datenlogger durch Schwierigkeiten mit den Zollformalitäten bis Anfang August. Ebenfalls wurde in den Untersuchungsperioden 2003 und 2004 Mitte Juni mit der Installation begonnen und auf der Fläche Pobedilowo war in der Untersuchungsperiode 2003 ein Datenlogger funktionsuntüchtig, so dass Datenlücken entstanden.

## 2.6. Wasserstand

Um den Wasserstand während der Vegetationsperiode (Anfang Juni bis Ende September) zu messen und eventuelle Wasserspiegelschwankungen zu ermitteln, wurden Pegel an jedem Messpunkt des Transekts (Flach, Mittel, Tief) angebracht und während der Vegetationsperiode zweiwöchentlich abgelesen. Somit wurde der Wasserstand vom Gewässergrund (Boden) bis zur Gewässeroberfläche bestimmt (in [cm]). Die Wahl der Pegelpunkte innerhalb des Transekts differenzierten durch Veränderungen der *Typha*-Bestände leicht zwischen den Untersuchungsperioden.

## 2.7. Biometrische Daten, Biomasse und Blattflächenindex

Die Erfassung der pflanzlichen Biomasse ist relativ zeitaufwendig und destruktiv. Sie stellt jedoch den am häufigsten erhobenen Parameter ökologischer Feldversuche dar und ist ein Maß für die Produktivität. Die Biomasse wird als pflanzliche Biomasse, pflanzlicher Bestandesvorrat oder Phytomasse bezeichnet und definiert als „dry matter of living organisms present at a given time per unit of earth's surface“ (LIETH & WHITTAKER 1975). In der ersten Untersuchungsperiode 2002 wurde gemäß dem Projektantrag die oberirdische Biomasse im Juli sowie am Ende der Vegetationsperiode im September geerntet. Dabei wurde nur ein Quadratmeter je Transektpunkt (Flach, Mittel, Tief) und Untersuchungsfläche (Pobedilowo, Saraly) beerntet. Im September 2003 und 2004 wurde dagegen jeweils nur zum Ende der Vegetationsperioden die oberirdische Biomasse von *Typha angustifolia* in drei Quadraten (1 m<sup>2</sup>) je Transektpunkt und je Untersuchungsfläche geerntet. Um die Bestandsreinheit zu garantieren, wurde darauf geachtet, dass nicht mehr als 1-2 weitere Arten (1,00-3,00 species/m<sup>2</sup>) in einem beernteten Quadratmeter vorkamen. Dabei wurde die Anzahl der lebenden „Stängel“ (Scheinsprosse) pro Quadrat gezählt. Die Höhe jedes Stängels wurde wie in Abbildung 6 dargestellt jeweils nur von einem Quadrat pro Transektpunkt gemessen. Anschließend wurden jeder einzelne Stängel zerteilt, fertile Stängel notiert und das Frischgewicht bestimmt. Die Pflanzen wurden 48 h bei 60 C° getrocknet und erneut gewogen.

Der Blattflächenindex (Leaf Area Index, LAI) ist ein dimensionsloses Maß und kennzeichnet das Verhältnis der Blattfläche der gesamten Vegetation zur Bodenfläche. Er ist ein Strukturparameter, der als Maß für die oberirdische Pflanzenbiomasse und die durch den Bestand absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung gilt (WELLES & NORMAN

---

1991). Um den Blattflächenindex zu bestimmen, wurden bei fünf Stängeln pro Quadratmeter an beiden Versuchsfächen die Blätter gezählt. Mindestens zwei Blätter pro Stängel (bis zur Blattscheide, Abb. 6) wurden gescannt und mit PHOTO-PAINT 7.0 (COREL Corp., Ottawa, Kanada) nachbearbeitet. Anschließend wurden die Bilder mit Dt-Scan (DELTA-T Devices Ltd., Cambridge, Großbritannien) gescannt und die spezifische Blattfläche (Specific leaf area, SLA) wurde errechnet. Dann konnte der Blattflächenindex aus der Anzahl der Blätter und Stängel pro Quadratmeter errechnet werden.

## **2.8. Pflanzeninhaltsstoffe**

Mineralinhaltsstoffe von Blättern sind generell geeignet, die photosynthetischen Funktionen und damit das relative Wachstum von Pflanzen zu beeinflussen (STITT et al. 1991, CORNELISSEN et. al. 1997).

Um die Mineralinhaltsstoffe zu bestimmen, wurden in der Untersuchungsperiode 2003 fünf und in der Untersuchungsperiode 2004 zehn der getrockneten Stängel aus der Biomassebestimmung je Transektpunkt zufällig ausgewählt. Dabei wurden je Stängel fünf bis zehn Pflanzenteile gemahlen. Der Kohlenstoffgehalt wurde mit einem CS-225 Carbon & Sulfur Determinator (LECO Corp., St Joseph, USA) analysiert. Der Stickstoffgehalt wurden mit Hilfe der Kjeldahl Methode (KJELTEC Systems, Högaris, Schweden) determiniert (STEUBING & FANGMEIER 1992). Der Phosphorgehalt wurde mit der spektrofotometrischen Methode bestimmt. Dabei wurde nach dem Glühen der Probenrest (Asche) mit Chlorwasserstoffsäure gelöst und filtriert. Der Phosphorgehalt wurde durch Messen der Verfärbungsintensität von Molybdänblau des Filtrats bestimmt. Der verdünnte Auszug wurde spektrometrisch in einem AAS Vario 6 (Atom-Absorptions-Spektrometer) in Verbindung mit einem AS 52 Autosampler (ANALYTIK Jena AG, Jena, Deutschland) auf die Inhaltsstoffe Kalium (K), Magnesium (Mg), Eisen (Fe) und Mangan (Mn) analysiert.

**Tabelle 6:** Wichtigste gemessene und errechnete Mikroklima- und Gaswechselgrößen bei Messungen mit dem [CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O]-Porometer LICOR 6400 (LICOR, Nebraska, USA).

| Code                           | Größe   | Maßeinheit   |
|--------------------------------|---|--|
| <b>PARm = PFD</b>              | Mittelwert (außen + innen)<br>Photosynthetisch Aktive Strahlung | [ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]              |
| <b>J<sub>CO2</sub> [Photo]</b> | CO <sub>2</sub> -Austauschrate                                  | [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ] |
| <b>Cond [g]</b>                | Stomatäre Leitfähigkeit   | [ $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]     |
| <b>Trans</b>                   | Transpiration   | [ $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]    |
| <b>Vpdl</b>                    | Wasserdruckdefizit<br>an der Blattoberfläche                    | [kPa]  |
| <b>Tair</b>                    | Lufttemperatur an der Blattoberfläche                           | [°C]   |
| <b>Tleaf</b>                   | Blatttemperatur an der Blattoberfläche                          | [°C]   |
| <b>CO2R</b>                    | CO <sub>2</sub> -Referenz-Analysator                            | [ $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol Luft}$ ]             |
| <b>CO2S</b>                    | CO <sub>2</sub> -Probe-Analysator                               | [ $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol Luft}$ ]             |
| <b>H2OR</b>                    | H <sub>2</sub> O- Referenz-Analysator                           | [ $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{mol Luft}$ ]        |
| <b>H2OS</b>                    | H <sub>2</sub> O- Probe-Analysator                              | [ $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{mol Luft}$ ]        |
| <b>RH</b>                      | Relative Luftfeuchte  | [%]  |
| <b>Ci</b>                      | Interzelluläre CO <sub>2</sub> -Konzentration                   | [ $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol Luft}$ ]             |

## 2.9. Gaswechselformung

### 2.9.1 Gaswechselformungen im Untersuchungsgebiet Kuibyschew-Reservoir

Für die Gaswechselformungen wurde ein [CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O]-Porometer LICOR 6400 (LICOR, Nebraska, USA) verwendet. Dabei handelt es sich um ein kommerziell verfügbares, portables Gerät. Derartige Geräte wurden in der Literatur detailliert beschrieben (SCHULZE et al. 1982, STEUBING & FANGMEIER 1992). Das Porometer besteht aus einer Systemkonsole und einem Sensorkopf. Das LI-6400-Photosynthese-System ist ein offenes Gasaustauschsystem. Es findet ein kontinuierlicher Durchfluss von Außenluft statt. Die CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Konzentrationen werden durch zwei Infrarot-Gas-Analysatoren (IRGA) gemessen. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Austauschrate  $J_{\text{CO}_2}$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) und der Transpiration ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) erfolgt durch Messung der Luftdurchflussrate und des CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Konzentration von Proben- und Referenzgas bezogen auf die eingespannte

Blattfläche. Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate ( $J_{CO_2}$ ) und die Transpiration ( $E$ ) werden dann nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$J_{CO_2} = \frac{u_e(c_e - c_c)}{100s} - c_c E \qquad E = \frac{u_e(w_c - w_e)}{s \times 10^5 \left(1 - \frac{w_c}{1000}\right)}$$

- $c_c$  = Molfraktion CO<sub>2</sub> innerhalb der Blattkammer des Sensorkopfes ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  Luft)
- $c_e$  = Molfraktion CO<sub>2</sub>, die die Blattkammer des Sensorkopfes erreicht ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  Luft)
- $s$  = Blattfläche ( $\text{cm}^2$ )
- $u_e$  = Molare Durchflussrate der Luft, die die Blattkammer des Sensorkopfes erreicht ( $\mu\text{mol s}^{-1}$ )
- $w_c$  = Molfraktion Wasserdampf innerhalb der Blattkammer ( $\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$  Luft)
- $w_e$  = Molfraktion Wasserdampf, die die Blattkammer erreicht ( $\text{mmol H}_2\text{O mol}^{-1}$  Luft)

Der Gaswechsel wurde in der natürlichen vertikalen Blattposition in Stängelhöhen von 120 bis 130 cm gemessen, was durch die Verwendung einer transparenten Blattkammer möglich wurde. Die Lichtbedingungen der Umgebung der fast vertikalen Kammer wurden mit der Hilfe von zwei Lichtsensoren (Photonenflussdichte, PFD) erfasst. Dabei war ein Sensor (Galium-Arsenide-Phosphide-Sensor, GasP) mit einem Messbereich von 0-3000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  innerhalb der transparenten Kammer und ein Quantum-Sensor extern auf der entgegengesetzten Seite der Kammer angebracht. Eine Übersicht der gemessenen und errechneten Größen der Porometermessungen ist in Tabelle 6 zusammengefasst.

Zwei Stängel pro Transektpunkt an jeder Untersuchungsfläche wurden zufällig für die Gaswechselfmessungen ausgewählt. Die Blätter der Stängel wurden gekennzeichnet und in die Kammer mit einer Probenfläche von sechs Quadratzentimeter gespannt. Die Blätter wurden in einer Messhöhe von 120 bis 130 cm vom Boden aus gemessen. Dies entsprach der ungefähren Mitte der Länge der Blätter, denn nach KNAPP & YAVITT (1994) nehmen diese genannten Parameter von Blattbasis zur Blattspitze bei der Art *Typha latifolia* signifikant zu. Nach dem Messgang wurden die Breiten der markierten Blätter vermessen, da die schmalen Blätter von *Typha angustifolia* nicht die vollständige Probenfläche von sechs Quadratzentimeter des Sensorkopfes ausfüllten. Die Gaswechselfmessungen wurden jeweils in den Untersuchungsperioden 2002, 2003 und 2004 Ende Juli, Anfang August bei nahezu wolkenlosen Verhältnissen durchgeführt. Es wurden Tagesgänge mit einem Interwall von jeweils circa 60 min von circa 5:00 Uhr MSD (Moskauer Sommerzeit) morgens bis circa 20:00 Uhr MSD abends gemessen. Je Vegetationsperiode und Untersuchungsfläche wurden jeweils mindestens zwei Tagesgänge

durchgeführt (2002, Pobedilowo: 24. Juli; 2003, Pobedilowo: 5. und 12. August; Saraly: 7. und 18. August; 2004, Pobedilowo: 3. und 17. August; Saraly: 6., 13. und 19. August). In der Untersuchungsperiode 2002 konnte nur ein Tagesgang gemessen werden, da durch technische Schwierigkeiten des Porometers weitere Tagesgänge nicht durchgeführt werden konnten. Binnen der Vegetationsperioden 2003 und 2004 waren die Wassertiefen an den jeweiligen Transektpunkten während der Tagesgänge unterschiedlich und sind in der Tabelle 7 zusammengestellt.

**Tabelle 7:** Wasserstände während der photosynthetischen Messungen an *Typha angustifolia*-Stängeln in den Untersuchungsperioden 2003 und 2004.

| Transektpunkt | 2003       | 2004       |
|---------------|------------|------------|
| Flach         | 5 - 40 cm  | 25 - 50 cm |
| Mittel        | 40 - 70 cm | 40 - 70 cm |
| Tief          | 70 - 90 cm | 50 - 80 cm |

### 2.9.2. Gaswechsellmessungen im Botanischen Garten der Universität Ulm

Um die Gaswechsellmessungen im Feld (Kuibyschew-Reservoir) mit experimentellen Untersuchungen zu vergleichen und zu unterstützen, wurden zwei Tagesgänge im Frühjahr 2004 ebenfalls mit dem in Abschnitt 2.9.1 beschriebenen [CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O]-Porometer LICOR 6400 (LICOR, Nebraska, USA) durchgeführt. Hierzu wurden im Januar 2004 50 säuberlich gewaschene *Typha angustifolia* Rhizomstücke in Container (30x30x65 cm) mit Komposterde eingebracht. Anschließend wurden die Container im Kalthaus des Gewächshauses des Botanischen Gartens der Universität Ulm gelagert. Im März 2004 wurden die Container in das Außenbeet des Botanischen Gartens in Wannen verbracht. Die Pflanzen wurden so gegossen, dass die Container stets Wasser gesättigt oder circa 5 cm mit Wasser bedeckt waren. Im Mai 2004 wurden 10 Pflanzen zufällig ausgewählt und markiert. Im circa zweistündigen Rhythmus wurden zwei Tagesgänge (12. Mai 2004, 19. Mai 2004) jeweils von 8:00 bis 17:00 Uhr (Mitteleuropäische Sommerzeit, WEDT) bei nahezu wolkenlosen Wetterverhältnissen bei den ausgewählten Pflanzen durchgeführt. Die Blätter der Pflanzen wurden in einer Messhöhe von circa 100 cm vom Boden gemessen. Das Substrat der Pflanzen waren während der gesamten Messgänge mit Wasser gesättigt

oder mit Wasser nicht höher als 5 cm bedeckt. Anschließend nach dem Messgängen wurden die Blattbreiten der Messblätter gemessen (vgl. Abschnitt 2.9.1.).

## 2.10. Statistische und analytische Methoden

Die aufgenommenen Daten wurden tabellarisiert. Von Daten der Biometrie, der Pflanzeninhaltsstoffe sowie verschiedener Gaswechselfparameter wurden arithmetische Mittelwerte gebildet. Für die Bestimmung des arithmetischen Mittels aller Klimadaten (Datalogger: Luft- und Bodentemperatur, PFD, relative Luftfeuchte) wurden nach der internationalen Methode des Deutschen Wetterdienst für 24 Stunden gemittelt. Zur Errechnung der Nährstoffvorräte wurden die bestimmten Nährstoffgehalte mit der bestimmten Biomasse der Einzelstängel multipliziert.

Als Maß für den Zusammenhang verschiedener Parameter der Gaswechselfmessungen wurde die SPEARMAN-Rangkorrelation für alle ordinalskalierte oder intervallskalierte aber nicht normalverteilten Daten angewendet und die PEARSON-Korrelation (für alle normalverteilten, intervallskalierten Daten) verwendet. Für die Daten des Mikroklimas wurden als Mittelwertvergleiche paarweise t-Tests verwendet (für normalverteilte, intervallskalierte Messwerte). Für die Überprüfung von Vergleichen mehrerer Mittelwerte gleichzeitig wurden Varianzanalysen (normalverteilte Daten, ANOVA) durchgeführt. Für Vergleiche mit mehreren Mittelwerten in Bezug auf mehr als einen Faktor wurden mehrfaktorielle Varianzanalyse (MANOVA, „factorial ANOVA“) berechnet.

Zur Berechnung von Bilanzen des Kohlenstoffhaushalts der Messpflanzen (gemessenen Stängel) aus den Gaswechselfmessungen wurde die Kohlendioxid-Aufnahme pro Tag nach folgender Gleichung berechnet:

$$\sum_0^n (t_n - t_{n-1}) \left( \frac{J_n + J_{n-1}}{2} \right) = G_{CO_2} [\mu\text{mol CO}_2 \text{ d}^{-1}] \quad (1)$$

(n = Anzahl der Messungen im Tagesgang; t = Zeitpunkt der Messungen im Tagesgang; J = CO<sub>2</sub>-Austauschrate; G<sub>CO<sub>2</sub></sub> = Kohlendioxid-Aufnahme in μmol CO<sub>2</sub> d<sup>-1</sup>).

Um die Kohlenstoff-Aufnahme pro Tag zu errechnen erfolgte zunächst eine Umrechnung von Gleichung (1) in mol (dividiert durch 1.000.000). Um auf die reine Kohlenstoff-Aufnahme [G<sub>c</sub>] pro Tag zu gelangen musste der Kohlendioxid (G<sub>CO<sub>2</sub></sub>) in g umgerechnet werden (multipliziert mit 44 g = 1 mol CO<sub>2</sub>) um dann in Kohlenstoff wiederum umrechnen

zu können (multipliziert mit  $12 \text{ g} = 1 \text{ mol C}$  und dividiert durch  $44 \text{ g}$ ). Diese Rechenschritte können zu folgender Gleichung (2) zusammen gefasst werden:

$$G_c [\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}] = \frac{G_{\text{CO}_2} \times 44 \times \frac{12}{44}}{1.000.000} \quad (2)$$

Um die Kohlenstoff-Aufnahme [ $A_c$ ] im Jahresverlauf, bzw. in der Vegetationsperiode zu errechnen, wurden die errechneten Kohlenstofftagesaufnahmen [Mittelwerte der Tagesgänge unterschieden in Untersuchungsflächen (Pobedilowo, Saraly) und Wasserstand (flach, mittel, tief)] mit Anzahl der Vegetationstage und mit der Blattfläche [ $B$ ] (bzw. LAI) multipliziert. Die Vegetationsperiode wurde auf die Monate Juni (30 Tage), Juli (31 Tage), August (31 Tage) und September (15 Tage) festgelegt. Zusammengefasst sind das 107 Tage. Die Phänologie der Pflanzen wurde nicht ausreichend studiert. Daher wurden im Monat Juni  $\frac{1}{3}$  der Blattfläche, im Juli  $\frac{2}{3}$  der Blattfläche, im August die volle Blattfläche und im September  $\frac{2}{3}$  der Blattfläche angenommen. Diese Rechnung ist in den Bilanztabellen im Ergebnisteil Abschnitt 3.5.4. als Bilanztabelle A zu finden und kann in Gleichung (3) zusammengefasst werden:

$$A_c [\text{gCm}^{-2}\text{a}^{-1}] = [G_c \times (\frac{1}{3} B \times 30)] + [G_c \times (\frac{2}{3} B \times 31)] + [G_c \times (B \times 31)] + [G_c \times (\frac{2}{3} B \times 15)] \quad (3)$$

Zur Bilanzierung der Kohlenstoff-Aufnahmen gegenüber den eingebauten Kohlenstoff in der oberirdischen Biomasse wurden für die Untersuchungsperioden 2003 und 2004 die Mittelwerte der oberirdischen Biomasse [pro  $\text{m}^2\text{a}^{-1}$ ] mit dem Mittelwert der Messungen des Kohlenstoffgehalts [in %] der jeweiligen Wasserstände (flach, mittel, tief) multipliziert. Diese Rechnung ist in den Bilanztabellen im Ergebnisteil Abschnitt 3.5.4. als Bilanztabelle B zu finden. Die Differenz zwischen oberirdischen Kohlenstoff-Ist-Biomasse (pro Vegetationsperiode) und Kohlenstoff-Aufnahme aus der Atmosphäre wird in Bilanztabelle C dargestellt. In der Untersuchungsperiode 2004 wurde die Biomasse der Messstängel für die Tagesgänge auf beiden Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly bestimmt, so dass Kohlenstoffjahresbilanzen für die einzelnen Messstängel berechnet werden konnten. Dabei wurde nach dem gleichen Rechenschritten vorgegangen, wie bereits beschrieben in Gleichung 1, 2 und 3. Allerdings wurden die genaue Blattanzahl und genauen Blattflächen ermittelt um diese, wie in Gleichung 3, mit der jeweiligen

---

Kohlenstoffaufnahme des jeweiligen Stängels zu multiplizieren. Ebenfalls wurde die genaue Biomasse der jeweiligen Stängel ermittelt, um diese mit einem Mittelwert des Kohlenstoffanteils der Stängel zu multiplizieren. Zuletzt wurde wiederum die Differenz zwischen Kohlenstoff-Aufnahme und Kohlenstoff-Ist-Biomasse gebildet.

Die Berechnungen der arithmetischen Mittelwerte erfolgten mit Hilfe des Programms Microsoft EXCEL (Office 2000, MICROSOFT Corporation, Redmond WA, USA), die beschriebenen Testverfahren wurden unter Nutzung des Programms STATISTICA 6.0 (STATSOFT Inc., Tulsa OK, USA) durchgeführt. Für die graphische Darstellung wurde das Programm SigmaPlot 9.0 (SYSTAT Software Inc., Point Richmond CA, USA) verwendet.

Die Signifikanz wurde mit Hilfe der Irrtumswahrscheinlichkeit bei allen angeführten Testverfahren in üblicher Weise klassifiziert ( $p > 0,05$  – nicht signifikant,  $0,05 > p \geq 0,01$  – signifikant,  $0,01 > p \geq 0,001$  – sehr signifikant,  $p < 0,001$  – hochsignifikant) (SACHS 2002).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Ergebnisse der mikroklimatischen Messungen

Die monatlichen Mittelwerte von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte und Bodentemperatur (in 10 cm Tiefe) sind für die beiden Untersuchungsflächen in Tabelle 8 und Tabelle 9 (Seite 40) zusammengefasst. In den Untersuchungsperioden 2002 und 2003 bestanden Datenlücken aufgrund der im Abschnitt 2.5 (Seite 30) beschriebenen Probleme. Daher konnten in Untersuchungsperiode 2002 in der Auswertung nur der Monat September berücksichtigt werden. Die Lufttemperaturen lagen auf beiden Untersuchungsflächen in der Untersuchungsperiode 2002 im September um ein °C über dem langjährigen Mittel.

**Tabelle 8:** Monatliche Mittelwerte der Lufttemperatur, relativen Luftfeuchte und Bodentemperatur für die Untersuchungsfläche Pobedilowo. Zum Vergleich wurde das langjährige Mittel der Station Kazan (1971-2000) für die Lufttemperatur angegeben (STRÄßER 1998).

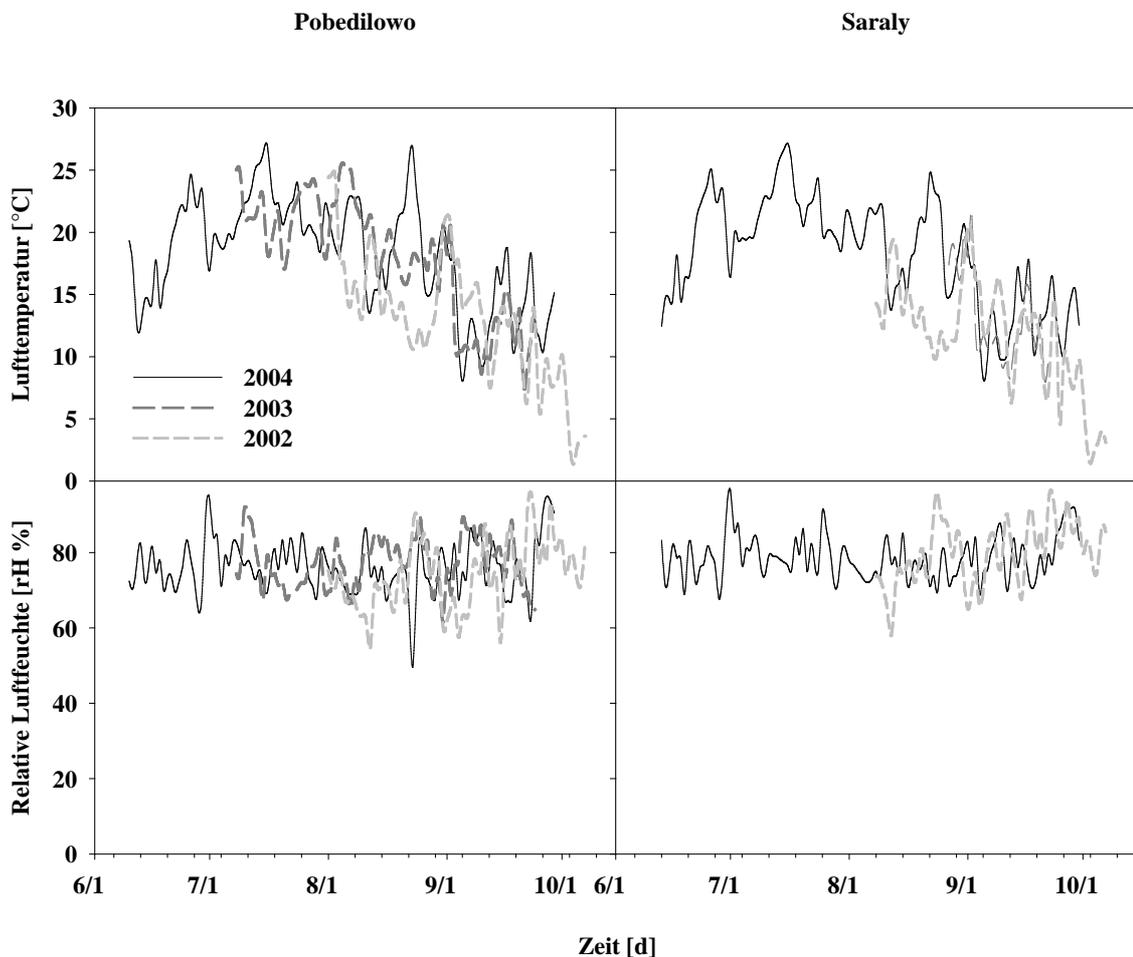
| <b>Pobedilowo</b>                 |             |             |               |                  |
|-----------------------------------|-------------|-------------|---------------|------------------|
| <b>Lufttemperatur [°C]</b>        | <b>Juni</b> | <b>Juli</b> | <b>August</b> | <b>September</b> |
| <b>Mittel Kazan [1971-2000]</b>   | 17,3        | 19,4        | 17,2          | 11,2             |
| <b>2002</b>                       | -           | -           | 15,5          | 12,3             |
| <b>2003</b>                       | -           | 21,5        | 19,7          | 12,1             |
| <b>2004</b>                       | 18,4        | 21,5        | 19,4          | 13,5             |
| <b>Relative Luftfeuchte [rH%]</b> |             |             |               |                  |
| <b>2002</b>                       | -           | -           | 71,8          | 75,8             |
| <b>2003</b>                       | -           | 75,7        | 77,4          | 78,2             |
| <b>2004</b>                       | 75,2        | 78,1        | 73,0          | 78,1             |
| <b>Bodentemperatur [°C]</b>       |             |             |               |                  |
| <b>2002</b>                       | -           | -           | 17,8          | 12,6             |
| <b>2003</b>                       | -           | 21,4        | 20,6          | 13,4             |
| <b>2004</b>                       | 18,9        | 22,1        | 20,0          | 15,2             |

**Tabelle 9:** Monatliche Mittelwerte der Lufttemperatur, relativen Luftfeuchte und Bodentemperatur für die Untersuchungsfläche Saraly. Zum Vergleich wurde das langjährige Mittel der Station Kazan (1971-2000) für die Lufttemperatur angegeben (STRÄßER 1998).

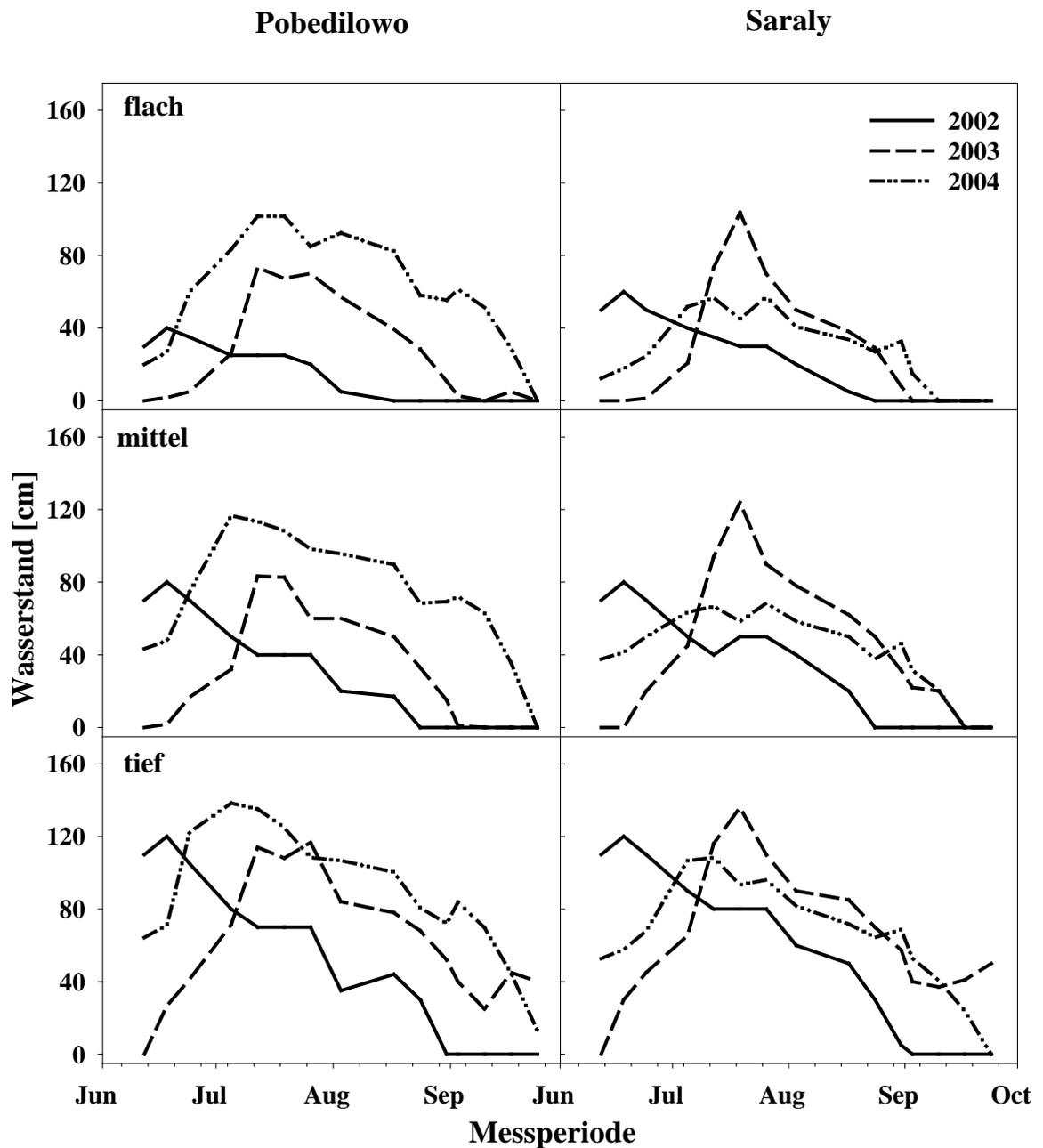
| Saraly                            |      |      |        |           |
|-----------------------------------|------|------|--------|-----------|
| Lufttemperatur [°C]               | Juni | Juli | August | September |
| <b>Mittel Kazan [1971-2000]</b>   | 17,3 | 19,4 | 17,2   | 11,2      |
| <b>2002</b>                       | -    | -    | 13,6   | 12,1      |
| <b>2003</b>                       | -    | -    | -      | 13,1      |
| <b>2004</b>                       | -    | 21,7 | 19,2   | 13,3      |
| <b>Relative Luftfeuchte [rH%]</b> |      |      |        |           |
| <b>2002</b>                       | -    | -    | 77,5   | 81,3      |
| <b>2003</b>                       | -    | -    | -      | -         |
| <b>2004</b>                       | -    | 80,4 | 76,0   | 80,3      |
| <b>Bodentemperatur [°C]</b>       |      |      |        |           |
| <b>2002</b>                       | -    | -    | 14,7   | 12,2      |
| <b>2003</b>                       | -    | -    | -      | -         |
| <b>2004</b>                       | -    | 21,7 | 19,5   | 14,0      |

Zwischen den Untersuchungsperioden 2003 bis 2004 bestanden keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte. Während der Untersuchungsperioden 2003 und 2004 von Juni bis Ende September war es auf beiden Untersuchungsflächen deutlich wärmer als im langjährigen Mittel. Im Mittel (von Juni-September) lag die Lufttemperatur um zwei C° höher gegenüber dem langjährigen Mittel in der Untersuchungsperiode 2003 und 2004 auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo, und 2004 auf der Untersuchungsfläche Saraly. Zwischen den Untersuchungsflächen bestanden im Hinblick auf die Bodentemperatur (Monatsmittel) keine signifikanten Unterschiede. Die Bodentemperatur der Untersuchungsflächen wichen im Monatsmittel, solange die Flächen überflutet waren, nicht von denen der Lufttemperatur ab. Erst als das Wasser auf den Flächen sich im August und September zurückgezogen hatte, lag die Bodentemperatur im Monatsmittel um circa ein °C höher als die der Lufttemperatur. Die relative Luftfeuchte war auf der Untersuchungsfläche Saraly im Mittel signifikant höher ( $t = -4,84$ ;  $p < 0,01$ ) im Vergleich zur Untersuchungsfläche Pobedilowo (Tab. 8 und Tab. 9).

Die Untersuchungsflächen spiegeln das kontinentale Klima des Untersuchungsgebiets Kuibyschew-Reservoir wider (Abb. 15). Während im Sommer mittlere Tageslufttemperaturen von über 26 °C gemessen wurden, konnten Anfang Oktober schon Tagestemperaturen von einem °C gemessen werden. Zusätzlich kam es vereinzelt schon zu Schneefall. Die Untersuchungsfläche Pobedilowo war durch ihre Stadtnähe charakterisiert, so dass sie im Tagesmittel trockener und wärmer war (Abb. 15). Zum Beispiel wurde in der Untersuchungsperiode 2004 am 23. August auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo eine mittlere Tageslufttemperatur von 26,8 °C und eine Luftfeuchte von 50 Prozent gemessen, während auf der Untersuchungsfläche Saraly eine Lufttemperatur von 23,7 °C und eine relative Luftfeuchte von 74 Prozent herrschte.



**Abbildung 15:** Tagesmittelwerte der mikroklimatischen Parameter Lufttemperatur und Relativen Luftfeuchte während der Untersuchungsperioden 2002, 2003 und 2004 an den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly.



**Abbildung 16:** Wasserstandsmessungen an den Transektpunkten (flach, mittel, tief) auf den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly in den Untersuchungsperioden 2002, 2003 und 2004. (Hinweis: Die Messwerte sind in veränderten Transektpunkten zwischen den Untersuchungsperioden zu bewerten – siehe Abschnitt 2.6., Seite 31)

### 3.2. Ergebnisse der Wasserstandsmessungen

Die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen auf den Untersuchungsflächen demonstrieren die stetigen Wasserspiegelschwankungen am Kuibyschew-Reservoir. Die Ergebnisse sind in Abbildung 16 zusammengefasst. Die Wasserstände waren zwischen den Untersuchungsperioden 2002, 2003 und 2004 auf den Untersuchungsflächen sehr unterschiedlich. Diese Unterschiede bezogen sich auf die Maxima sowie die Zeitpunkte der Höchstwerte innerhalb der Untersuchungsperioden, als auch zwischen den Untersuchungsflächen. Der maximale Wasserstand wurde in Untersuchungsperiode 2002 schon früh im Juni erreicht und fiel im Laufe der Untersuchungsperiode stetig ab. Anfang September waren alle Transektpunkte auf beiden Untersuchungsflächen vollständig trocken. Im Gegensatz zu den folgenden Untersuchungsperioden 2003 und 2004 waren somit alle Transektpunkte (flach, mittel, tief) während der Untersuchungsperiode geringer überflutet. In den Folgeperioden 2003 und 2004 waren im September jedoch noch einige Transektpunkte (besonders die tiefen Transektpunkte) bis zum Ende der Untersuchungsperioden überflutet. Der maximale Wasserstand wurde in den Untersuchungsperioden 2003 und 2004 auf beiden Untersuchungsflächen Anfang bis Mitte Juli erreicht und fiel dann stetig ab. Während in den Untersuchungsperioden 2002 und 2004 die Untersuchungsflächen von Beginn an überschwemmt waren, waren in der Untersuchungsperiode 2003 zu Beginn die Untersuchungsflächen trocken. Auf diesen Untersuchungsflächen setzte die Überflutung der *Typha*-Bestände erst Ende Juli ein und stieg dann aber sehr schnell und stark an. Auf der Untersuchungsfläche Saraly stieg der Wasserstand in der Untersuchungsperiode 2003 innerhalb von einem Monat auf bis zu 150 cm im tiefen Bereich stark an. Dieses Maximum war 30 bis 40 cm höher als in der Folgeperiode 2004. In umgekehrter Form war in der Untersuchungsperiode 2004 der maximale Wasserstand auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo 30 bis 40 cm höher als in der Untersuchungsperiode 2003.

**Tabelle 10:** Ergebnisse für die Biomasse und Stängelmorphologie in der Untersuchungsperiode 2002 auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo. Dabei wurde ein Quadratmeter pro Tanssektpunkt (flach, mittel, tief) im Juli und im September geerntet.

| 2002                                       | Pobedilowo |          |          |
|--|------------|----------|----------|
|  | flach      | mittel   | tief     |
| <b>Juli</b>                                |            |          |          |
| Wassertiefe [m]                            | 0.55       | 0.70     | 1.0      |
| Trockenbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 741        | 483      | 366      |
| <b>September</b>                           |            |          |          |
| Wassertiefe [m]                            | 0          | 0        | 0        |
| Trockenbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 785        | 579      | 544      |
| Dichte lebender Stängel [m <sup>-2</sup> ] | 35,3±12,5  | 16,6±2,3 | 25,0±8,9 |
| Blätter pro Stängel                        | 8,2±0,5    | 8,6±1,1  | 8,6±4,2  |
| Stängelhöhen [cm]                          | 292±12     | 305±25   | 296±13   |
| Fruchtstände pro m <sup>2</sup>            | 7±3,6      | 4±1,7    | 1±1,7    |
| LAI (Leaf area index)                      | 4,5        | 2,4      | 3,9      |

**Tabelle 11:** Ergebnisse für die Biomasse und Stängelmorphologie in der Untersuchungsperiode 2002 auf der Untersuchungsfläche Saraly. Dabei wurde ein Quadratmeter pro Tanssektpunkt (flach, mittel, tief) im Juli und im September geerntet.

| 2002                                       | Saraly  |          |          |
|--|---------|----------|----------|
|  | flach   | mittel   | tief     |
| <b>Juli</b>                                |         |          |          |
| Wassertiefe[m]                             | 0.3     | 0.4      | 0.9      |
| Trockenbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 588     | 570      | 405      |
| <b>September</b>                           |         |          |          |
| Wassertiefe [m]                            | 0       | 0        | 0        |
| Trockenbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 605     | 501      | 481      |
| Dichte lebender Stängel [m <sup>-2</sup> ] | 27,3±5  | 20,0±2,7 | 18,7±1,2 |
| Blätter pro Stängel                        | 8±0,7   | 8,4±1,3  | 6,8±1,3  |
| Stängelhöhen [cm]                          | 226±9   | 271±15   | 269±9    |
| Fruchtstände pro m <sup>2</sup>            | 4,3±4,1 | 0,7±1,2  | 0        |
| LAI (Leaf area index)                      | 2,1     | 2,2      | 1,7      |

**Tabelle 12:** Ergebnisse für die Biomasse und Stängelmorphologie in der Untersuchungsperiode 2003 für die Wasserstände (flach, mittel, tief) und den einzelnen Quadraten (A, B, C) auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo.

| 2003                                      | Pobedilowo |         |         |         |           |           |         |          |          |
|---|------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|----------|----------|
|   | flach      |         |         | mittel  |           |           | tief    |          |          |
|   | A          | B       | C       | A       | B         | C         | A       | B        | C        |
| Frischbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 3173       | 1758    | 2732    | 2852    | 3636      | 2847      | 2287    | 1436     | 2639     |
| Trockenbiomasse[g m <sup>-2</sup> ]       | 759        | 425     | 640     | 734     | 915       | 717       | 339     | 203      | 374      |
| Wassergehalt der Pflanzen [%]             | 76,1       | 75,8    | 73,1    | 72,2    | 74,8      | 74,8      | 85,6    | 85,9     | 85,9     |
| Trockenbiomasse pro Stängel [g]           | 23,7±14,3  | 17,7±10 | 23,7±13 | 27,2±15 | 26,2±12,7 | 29,9±12,4 | 18,9±10 | 20,3±7,9 | 19,7±8,4 |
| Dichte lebender Stängel [m <sup>2</sup> ] | 32         | 24      | 27      | 27      | 35        | 24        | 18      | 10       | 21       |
| Blätter pro Stängel [m <sup>2</sup> ]     | 5,2±1,3    |         |         | 5,7±1,8 |           |           | 6,1±1,4 |          |          |
| Stängelhöhen [cm] pro m <sup>2</sup>      | 251±36     |         |         | 250±48  |           |           | 237±71  |          |          |
| LAI (Leaf area index)                     | 1,9        |         |         | 1,9     |           |           | 1,4     |          |          |
| Fruchtstände pro m <sup>2</sup>           | 6          | 3       | 9       | 8       | 6         | 2         | 0       | 0        | 2        |

**Tabelle 13:** Ergebnisse für die Biomasse und Stängelmorphologie in der Untersuchungsperiode 2003 für die Wasserstände (flach, mittel, tief) und den einzelnen Quadraten (A, B, C) auf der Untersuchungsfläche Saraly

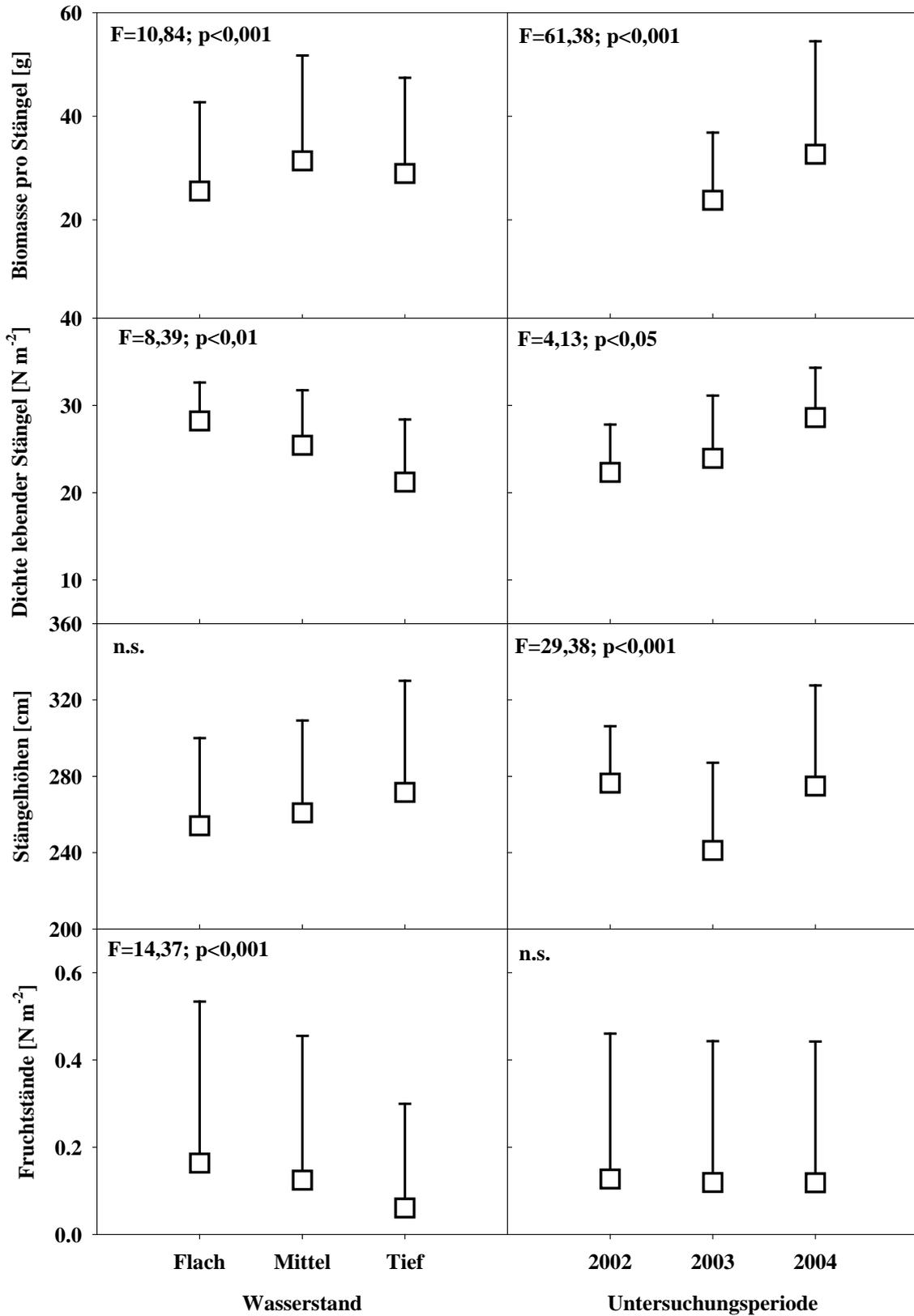
| 2003                                      | Saraly   |           |           |           |           |           |          |          |          |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
|   | flach    |           |           | mittel    |           |           | tief     |          |          |
|   | A        | B         | C         | A         | B         | C         | A        | B        | C        |
| Frischbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 2980     | 1801      | 2135      | 2413      | 2164      | 3072      | 2122     | 2164     | 2272     |
| Trockenbiomasse[g m <sup>-2</sup> ]       | 674      | 413       | 500       | 740       | 691       | 805       | 394      | 395      | 414      |
| Wassergehalt der Pflanzen [%]             | 77,6     | 77,2      | 76,6      | 71,1      | 73,8      | 73,8      | 81,4     | 81,8     | 81,8     |
| Trockenbiomasse pro Stängel [g]           | 20,4±9,2 | 21,7±11,2 | 17,8±10,4 | 27,4±20,4 | 26,6±11,8 | 25,1±12,1 | 32,9±7,9 | 26,3±7,6 | 19,7±9,1 |
| Dichte lebender Stängel [m <sup>2</sup> ] | 33       | 19        | 28        | 27        | 26        | 32        | 12       | 15       | 21       |
| Blätter pro Stängel [m <sup>2</sup> ]     |          | 6,2±1,0   |           | 5,7±1,3   |           |           |          | 7,7±1,2  |          |
| Stängelhöhen [cm] pro m <sup>2</sup>      |          | 247±36    |           | 238±34    |           |           |          | 205±43   |          |
| LAI (Leaf area index)                     |          | 2,4       |           | 2,1       |           |           |          | 1,4      |          |
| Fruchtstände pro m <sup>2</sup>           | 1        | 4         | 0         | 4         | 1         | 4         | 0        | 0        | 1        |

**Tabelle 14:** Ergebnisse für die Biomasse und Stängelmorphologie in der Untersuchungsperiode 2004 für die Wasserstände (flach, mittel, tief) und den einzelnen Quadraten (A, B, C) auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo.

| 2004                                      | Pobedilowo |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | flach      |           |           | mittel    |           |           | tief      |           |           |
|   | A          | B         | C         | A         | B         | C         | A         | B         | C         |
| Frischbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 2338       | 2856      | 1618      | 2870      | 3948      | 1774      | 3964      | 1898      | 3516      |
| Trockenbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]      | 846        | 977       | 498       | 955       | 1140      | 594       | 1154      | 512       | 998       |
| Wassergehalt der Pflanzen [%]             | 62,7±9,4   | 65,4±6,5  | 68,4±7,8  | 63,6±11,6 | 71,8±5,4  | 66,3±10,7 | 70,6±5,2  | 72,7±6,4  | 71,1±6,1  |
| Trockenbiomasse pro Stängel [g]           | 26,4±14,9  | 36,2±17,9 | 19,9±10,6 | 31,8±17,8 | 31,7±16,6 | 22,9±12,3 | 31,2±17,8 | 23,4±11,4 | 15,6±14,7 |
| Dichte lebender Stängel [m <sup>2</sup> ] | 32         | 27        | 25        | 30        | 36        | 26        | 37        | 22        | 39        |
| Blätter pro Stängel [m <sup>2</sup> ]     | 6±0,7      |           |           | 5,8±1,8   |           |           | 5,6±0,9   |           |           |
| Stängelhöhen [cm] pro m <sup>2</sup>      | 290±53     |           |           | 302±49    |           |           | 309±47    |           |           |
| LAI (Leaf area index)                     | 2,6        |           |           | 2,9       |           |           | 3,9       |           |           |
| Fruchtstände pro m <sup>2</sup>           | 2          | 11        | 1         | 2         | 8         | 0         | 5         | 2         | 3         |

**Tabelle 15:** Ergebnisse für die Biomasse und Stängelmorphologie in der Untersuchungsperiode 2004 für die Wasserstände (flach, mittel, tief) und den einzelnen Quadraten (A, B, C) auf der Untersuchungsfläche Saraly.

| 2004                                      | Saraly    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | flach     |           |           | mittel    |           |           | tief      |           |           |
|   | A         | B         | C         | A         | B         | C         | A         | B         | C         |
| Frischbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]       | 1362      | 2312      | 2782      | 2204      | 3012      | 2826      | 2472      | 1866      | 2156      |
| Trockenbiomasse [g m <sup>-2</sup> ]      | 618       | 1322      | 996       | 1164      | 1240      | 1174      | 1000      | 838       | 796       |
| Wassergehalt der Pflanzen [%]             | 56,7±14,2 | 45,0±10,2 | 64,5±4,5  | 45,1±18,9 | 58,8±7,3  | 60,2±7,0  | 61,5±9,5  | 56,3±6,9  | 63,8±5,4  |
| Trockenbiomasse pro Stängel [g]           | 20,6±14,6 | 40,1±27,1 | 32,1±16,1 | 36,4±33,0 | 45,9±24,7 | 47,0±27,6 | 41,7±31,0 | 41,9±25,3 | 41,9±18,4 |
| Dichte lebender Stängel [m <sup>2</sup> ] | 30        | 33        | 31        | 32        | 27        | 25        | 24        | 20        | 19        |
| Blätter pro Stängel [m <sup>2</sup> ]     | 6,2±0,8   |           |           | 6±1,2     |           |           | 6±0,7     |           |           |
| Stängelhöhen [cm] pro m <sup>2</sup>      | 222±29    |           |           | 252±44    |           |           | 274±30    |           |           |
| LAI (Leaf area index)                     | 2,1       |           |           | 2,0       |           |           | 1,9       |           |           |
| Fruchtstände pro m <sup>2</sup>           | 1         | 3         | 8         | 1         | 6         | 1         | 3         | 1         | 3         |



**Abbildung 17:** Zusammenhänge einzelner biometrischer Parameter (Mittelwert und Standardabweichung) in Beziehung zum Wasserstand (flach, mittel, tief) und Untersuchungsperiode (2002-2004), sowie Ergebnisse der MANOVA (siehe auch Tab. 16, Seite 48)

**Tabelle 16:** Ergebnisse der MANOVA für die morphologischen Stängel-Parameter (Biomasse pro Stängel, Dichte lebender Stängel, Stängelhöhe, Fruchtstand) in Beziehung zu den Faktoren Untersuchungsperiode (Periode 2002, 2003, 2004), Untersuchungsfläche (Fläche Pobedilowo und Saraly), Wasserstand (flach, mittel, tief) und den einzelnen Quadraten (A, B, C).

| Faktor                                 | Biomasse <sup>1</sup> |              |                  | Dichte        |             |                  | Stängelhöhen |              |                  | Fruchtstände |              |                  |
|--|-----------------------|--------------|------------------|---------------|-------------|------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|------------------|
|  | MS                    | F            | p                | MS            | F           | p                | MS           | F            | p                | MS           | F            | p                |
| Periode                                | <b>18715</b>          | <b>61,38</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>133,85</b> | <b>4,13</b> | <b>&lt;0,05</b>  | <b>53006</b> | <b>29,38</b> | <b>&lt;0,001</b> | 0,03         | 0,35         | 0,70             |
| Fläche                                 | <b>8495</b>           | <b>27,86</b> | <b>&lt;0,001</b> | 93,35         | 2,88        | 0,10             | 3244         | 1,80         | 0,18             | 0,01         | 0,07         | 0,80             |
| Wasserstand                            | <b>3306</b>           | <b>10,84</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>272,3</b>  | <b>8,39</b> | <b>&lt;0,001</b> | 3802         | 2,11         | 0,12             | <b>1,41</b>  | <b>14,37</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| Quadrat                                | 652                   | 2,14         | 0,11             |               |             |                  |              |              |                  | 0,01         | 0,07         | 0,93             |
| Periode*Fläche                         | <b>4624</b>           | <b>15,17</b> | <b>&lt;0,001</b> | 14,52         | 0,45        | 0,64             | <b>32573</b> | <b>18,05</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>0,79</b>  | <b>8,06</b>  | <b>&lt;0,001</b> |
| Periode*Wasserstand                    | 226                   | 0,74         | 0,47             | <b>144,24</b> | <b>4,45</b> | <b>&lt;0,01</b>  | <b>12358</b> | <b>6,85</b>  | <b>&lt;0,001</b> | <b>0,29</b>  | <b>2,97</b>  | <b>&lt;0,05</b>  |
| Fläche*Wasserstand                     | <b>1465</b>           | <b>4,81</b>  | <b>&lt;0,01</b>  | 45,41         | 1,40        | 0,26             | 547          | 0,30         | 0,73             | 0,18         | 1,85         | 0,16             |
| Periode*Quadrat                        | 715                   | 2,34         | 0,09             |               |             |                  |              |              |                  | <b>0,36</b>  | <b>3,69</b>  | <b>&lt;0,01</b>  |
| Fläche*Quadrat                         | 524                   | 1,72         | 0,18             |               |             |                  |              |              |                  | <b>0,35</b>  | <b>3,61</b>  | <b>&lt;0,05</b>  |
| Wasserstand*Quadrat                    | 664                   | 2,18         | 0,07             |               |             |                  |              |              |                  | 0,08         | 0,82         | 0,51             |
| Periode*Fläche*Wasserstand             | 681                   | 2,23         | 0,11             | 48,24         | 1,49        | 0,23             | 3321         | 1,84         | 0,12             | 0,09         | 0,91         | 0,46             |
| Periode*Fläche*Quadrat                 | <b>2291</b>           | <b>7,51</b>  | <b>&lt;0,001</b> |               |             |                  |              |              |                  | <b>0,31</b>  | <b>3,35</b>  | <b>&lt;0,01</b>  |
| Periode*Wasserstand*Quadrat            | 500                   | 1,64         | 0,16             |               |             |                  |              |              |                  | <b>0,34</b>  | <b>3,48</b>  | <b>&lt;0,001</b> |
| Fläche*Wasserstand*Quadrat             | 320                   | 1,05         | 0,38             |               |             |                  |              |              |                  | 0,09         | 0,92         | 0,45             |
| Periode*Fläche*Wasserstand*<br>Quadrat | 171                   | 0,56         | 0,69             |               |             |                  |              |              |                  | 0,03         | 0,35         | 0,70             |

<sup>1</sup> Für die Biomasse (Biomasse pro Stängel) konnten nur die Untersuchungsperioden 2003 und 2004 berücksichtigt werden.

**Tabelle 17:** Ergebnisse der MANOVA für die Parameter Biomasse bezogen auf die Bodenfläche, Anzahl der Blätter und Blattflächenindex in Beziehung zu den Faktoren Untersuchungsperiode (Periode 2002, 2003, 2004), Untersuchungsfläche (Fläche Pobedilowo und Saraly) und Wasserstand (flach, mittel, tief).

| Faktor                         | Ergebnisse MANOVA            |              |                  |              |              |                  |             |             |                 |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|------------------|-------------|-------------|-----------------|
|                                | Biomasse[g m <sup>-2</sup> ] |              |                  | Blätter      |              |                  | LAI         |             |                 |
|                                | MS                           | F            | p                | MS           | F            | p                | MS          | F           | p               |
| Periode                        | <b>792375</b>                | <b>25,23</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>39,01</b> | <b>31,35</b> | <b>&lt;0,001</b> | 1,36        | 2,36        | 0,14            |
| Fläche                         | 12097                        | 0,39         | 0,54             | 1,34         | 1,08         | 0,30             | <b>3,38</b> | <b>5,87</b> | <b>&lt;0,05</b> |
| Wasserstand                    | <b>193212</b>                | <b>6,15</b>  | <b>&lt;0,01</b>  | 1,54         | 1,24         | 0,30             | 0,21        | 0,36        | 0,71            |
| Periode*Fläche                 | 54152                        | 1,72         | 0,20             | <b>7,01</b>  | <b>5,63</b>  | <b>&lt;0,01</b>  |             |             |                 |
| Periode*Wasserstand            | 69995                        | 2,23         | 0,09             | <b>6,49</b>  | <b>5,22</b>  | <b>&lt;0,001</b> |             |             |                 |
| Fläche*Wasserstand             | 9711                         | 0,31         | 0,74             | 0,08         | 0,06         | 0,94             |             |             |                 |
| Periode*Fläche*<br>Wasserstand | 24968                        | 0,80         | 0,54             | 1,39         | 1,12         | 0,35             |             |             |                 |

### 3.3 Ergebnisse der Biometrischen Daten, Biomasse und Blattflächenindex

Die Ergebnisse der Biometrie sind in den Abbildungen 17 zusammengefasst (vergleiche auch Tabelle 10 bis Tabelle 17). Die Trockenbiomasse pro Quadratmeter unterschied sich hoch signifikant zwischen den Untersuchungsperioden (2002, 2003, 2004) ( $F= 25,23$ ;  $p<0,001$ , vgl. Tabelle 17). Dabei war besonders die Biomasse ( $\text{g m}^{-2}$ ) in der dritten Untersuchungsperiode höher als in den Vorjahren. Zudem stieg die Biomasse ( $\text{g m}^{-2}$ ) von dem flachen zum mittleren Wasserstand an und erreichte dann im tiefen Wasserstand die geringste Biomasse. Dieser Zusammenhang war signifikant ( $F=6,15$ ;  $p<0,01$ ). Zwischen den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly bestanden dabei keine Unterschiede. Signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsperioden ( $F=61,38$ ;  $p<0,001$ , vgl. Tabelle 16) sowie der Zusammenhang zwischen Wasserstand und Biomasse ( $F=10,84$ ;  $p<0,001$ ) waren für die Biomasse der einzelnen Stängel ebenfalls zu finden (Abb. 17). Zusätzlich war die Biomasse der einzelnen Stängel auf der Fläche Saraly signifikant höher als auf der Fläche Pobedilowo ( $F=27,86$ ;  $p<0,001$ ). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei individuellen Quadraten der Transekten auf beiden Flächen.

Die Dichte lebender Stängel pro Quadratmeter sowie die Dichte der Fruchtstände pro Quadratmeter nahm innerhalb des Bestandes mit zunehmender Wassertiefe in allen drei

---

Untersuchungsperioden signifikant ab ( $F=8,39$ ;  $p<0,001$  und  $F=14,37$ ;  $p<0,001$ ; vgl. Abb. 17). Innerhalb der drei Untersuchungsperioden nahm die Dichte lebender Stängel pro Quadratmeter von 2002 bis 2004 stetig signifikant zu (Abb. 17). Während für die Fruchtstände keine Unterschiede zwischen den Untersuchungsperioden zu registrieren waren, konnten signifikante Unterschiede für die Stängelhöhen [cm] zwischen den Untersuchungsperioden gefunden werden ( $F=29,38$ ;  $p<0,001$ , Abb. 17). Die Stängelhöhen waren in der Untersuchungsperiode 2002 im Mittel noch 280 cm hoch, während sie in der Untersuchungsperiode 2003 auf 240 cm im Mittel abfielen, um in der Untersuchungsperiode 2004 erneut fast die Höhe der Untersuchungsperiode 2002 im Mittel erreichten. Die Stängel waren mit zunehmender Wassertiefe höher (siehe Abb. 17). Dieser Zusammenhang war allerdings nicht signifikant. Zwischen den einzelnen beernteten Quadraten bestanden für die Anzahl der Fruchtstände keine Unterschiede. Weder die Dichte noch die Höhe der Stängel sowie die Anzahl der Fruchtstände unterschieden sich zwischen den Untersuchungsflächen Saraly und Pobedilowo.

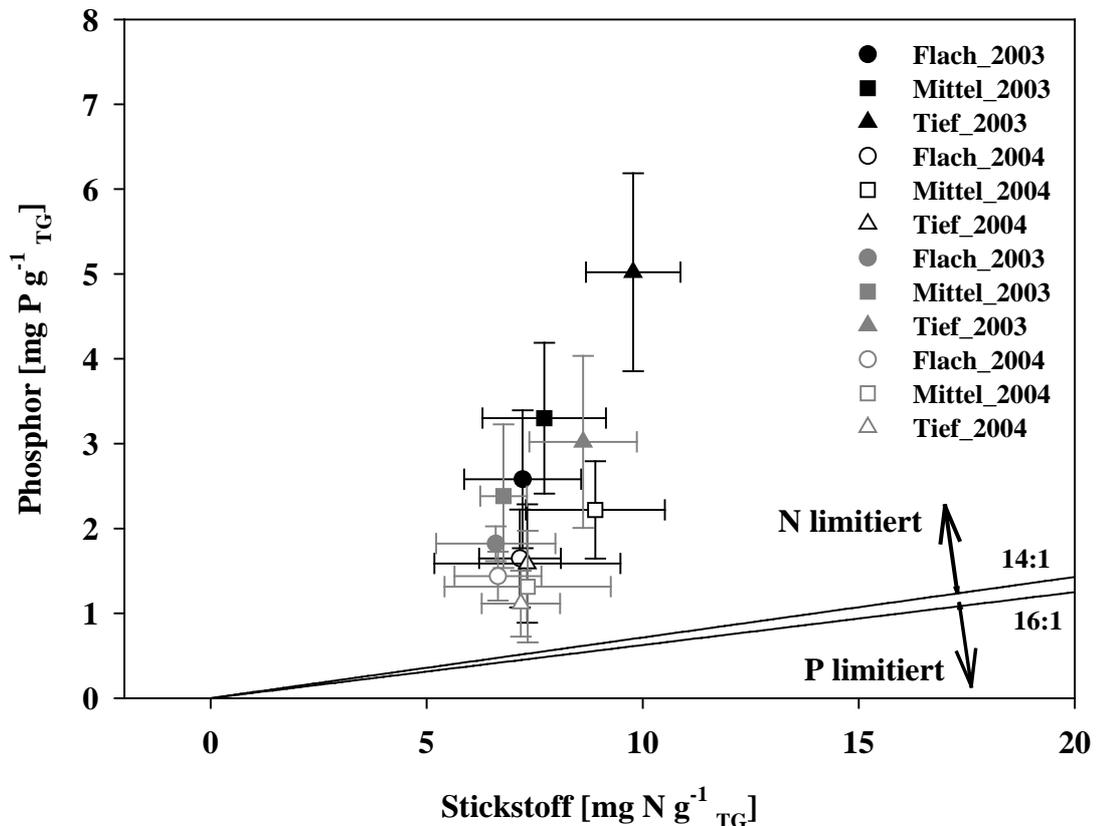
Die Anzahl der ausgebildeten Blätter pro Stängel veränderte sich mit zunehmender Wassertiefe nicht. Zwischen den Untersuchungsflächen Saraly und Pobedilowo waren keine Unterschiede zu finden. Allerdings nahm die Anzahl der ausgebildeten Blätter von der Untersuchungsperiode 2002 bis zur Untersuchungsperiode 2004 signifikant kontinuierlich ab ( $F=31,35$ ;  $p<0,001$ ).

Der Wasserstand hatte keinen Einfluss auf den Blattflächenindex (LAI). In der zweiten Untersuchungsperiode 2003 sank der LAI leicht ab und stieg in der Untersuchungsperiode 2004 wieder an. Dieser Zusammenhang war aber nicht signifikant. Der LAI war in allen drei Untersuchungsperioden auf der Fläche Pobedilowo ( $\bar{x}_{LAI}=2,8$ ) signifikant höher als auf der Fläche Saraly ( $\bar{x}_{LAI}=2,0$ ;  $F=5,87$ ,  $p<0,05$ ; Tabelle 17).

.

**Tabelle 18:** Ergebnisse der MANOVA und Mittelwerte für die einzelnen Pflanzeninhaltsstoffe [Nährstoffgehalt und Nährstoffvorrat (Nährstoffgehalt x Biomasse der Stängel) pro Stängel] gegenüber den Faktoren Untersuchungsperiode (Periode 2003 und 2004), Untersuchungsfläche (Fläche Pobedilowo: Pob und Saraly: Sar) und Wasserstand (flach, mittel, tief).

| Nährstoff-<br>gehalt<br>[mg g <sup>-1</sup> ] | Untersuchungsperiode |              |              |                  | Untersuchungsflächen |             |             |                  | Wasserstand  |              |              |             |                  |
|---|----------------------|--------------|--------------|------------------|----------------------|-------------|-------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------------|
|   | 2003                 | 2004         | F            | p                | Pob                  | Sar         | F           | p                | flach        | mittel       | tief         | F           | p                |
| <b>C</b>                                      | <b>434,1</b>         | <b>453,6</b> | <b>153,6</b> | <b>&lt;0,001</b> | 443,0                | 441,5       | 0,9         | n.s.             | <b>444,1</b> | <b>447,8</b> | <b>435,2</b> | <b>17,1</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>N</b>                                      | 7,8                  | 7,4          | 1,2          | n.s.             | <b>8,0</b>           | <b>7,2</b>  | <b>6,7</b>  | <b>&lt;0,05</b>  | <b>6,9</b>   | <b>7,7</b>   | <b>8,2</b>   | <b>5,7</b>  | <b>&lt;0,01</b>  |
| <b>P</b>                                      | <b>3,0</b>           | <b>1,6</b>   | <b>83,7</b>  | <b>&lt;0,001</b> | <b>2,7</b>           | <b>1,8</b>  | <b>37,6</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>1,8</b>   | <b>2,3</b>   | <b>2,7</b>   | <b>11,7</b> | <b>&lt;0,001</b> |
| <b>K</b>                                      | <b>13,5</b>          | <b>6,0</b>   | <b>77,4</b>  | <b>&lt;0,001</b> | 9,0                  | 10,6        | 3,3         | n.s.             | <b>8,8</b>   | <b>8,7</b>   | <b>11,9</b>  | <b>5,9</b>  | <b>&lt;0,01</b>  |
| <b>Mg</b>                                     | <b>1,3</b>           | <b>1,0</b>   | <b>19,7</b>  | <b>&lt;0,001</b> | 1,1                  | 1,2         | 0,8         | n.s.             | 1,2          | 1,1          | 1,2          | 0,6         | n.s.             |
| <b>Fe</b>                                     | 0,1                  | 0,2          | 3,0          | n.s.             | 0,2                  | 0,1         | 1,3         | n.s.             | 0,1          | 0,2          | 0,1          | 1,5         | n.s.             |
| <b>Mn</b>                                     | <b>0,5</b>           | <b>0,3</b>   | <b>30,5</b>  | <b>&lt;0,001</b> | 0,3                  | 0,4         | 2,8         | n.s.             | 0,4          | 0,3          | 0,4          | 1,9         | n.s.             |
| <b>Nährstoff-<br/>vorrat<br/>[mg]</b>         |                      |              |              |                  |                      |             |             |                  |              |              |              |             |                  |
| <b>C</b>                                      | 12547                | 14188        | 0,9          | n.s.             | 12612                | 14123       | 0,8         | n.s.             | 13219        | 12843        | 14041        | 0,2         | n.s.             |
| <b>N</b>                                      | 226,0                | 225,4        | 0,0          | n.s.             | 220,8                | 231,4       | 0,2         | n.s.             | 218,4        | 208,9        | 250,1        | 0,8         | n.s.             |
| <b>P</b>                                      | <b>85,9</b>          | <b>46,7</b>  | <b>21,0</b>  | <b>&lt;0,001</b> | <b>74,9</b>          | <b>57,7</b> | <b>4,1</b>  | <b>&lt;0,05</b>  | 55,5         | 66,3         | 77,1         | 2,1         | n.s.             |
| <b>K</b>                                      | <b>399,6</b>         | <b>204,5</b> | <b>17,2</b>  | <b>&lt;0,001</b> | 263,2                | 340,9       | 2,8         | n.s.             | 270,1        | 259,6        | 376,5        | 2,5         | n.s.             |
| <b>Mg</b>                                     | 39,4                 | 31,3         | 3,9          | n.s.             | 32,0                 | 38,7        | 2,6         | n.s.             | 33,8         | 33,2         | 39,0         | 0,8         | n.s.             |
| <b>Fe</b>                                     | 3,1                  | 4,1          | 1,8          | n.s.             | 3,6                  | 3,5         | 0,0         | n.s.             | 2,6          | 4,3          | 3,8          | 1,7         | n.s.             |
| <b>Mn</b>                                     | <b>13,9</b>          | <b>7,7</b>   | <b>13,3</b>  | <b>&lt;0,001</b> | 9,3                  | 12,3        | 3,1         | n.s.             | 11,5         | 9,3          | 12,0         | 0,9         | n.s.             |



**Abbildung 18:** Mittlere Phosphor- und Stickstoff- Konzentrationen ( $\pm$  Stabw) des oberirdischen Pflanzengewebes (Biomasse<sub>TG</sub>) in den Untersuchungsperioden 2003 und 2004. Dabei wird in Untersuchungsflächen Pobedilowo (schwarz) und Saraly (grau) sowie innerhalb des Transekts (Flach, Mittel, Tief) unterschieden. Das N:P Verhältnis  $<14:1$  und  $>16:1$  gibt N oder P Limitierung an (nach KOERSELMAN & MEULEMAN 1996).

### 3.4 Ergebnisse der Pflanzeninhaltsstoffe

Die Ergebnisse für die Pflanzeninhaltsstoffe und die Nährstoffvorräte (Nährstoffgehalt  $\times$  Biomasse/Individuum) sind in der Tabelle 18 dargestellt. Die Resultate für die Pflanzeninhaltsstoffe zeigen, dass zwischen den Untersuchungsperioden 2003 und 2004 signifikante Unterschiede für alle Pflanzeninhaltsstoffe, ausgenommen Stickstoff und Eisen, bestanden. Der Gehalt an Kohlenstoff nahm von der Untersuchungsperiode 2003 zur Untersuchungsperiode 2004 signifikant zu, während die übrigen Gehalte signifikant abnahmen. Auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo vergleichsweise zur Untersuchungsfläche Saraly waren nur die Gehalte von Stickstoff und Phosphor signifikant höher (Tab. 18). Die Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium nahmen mit

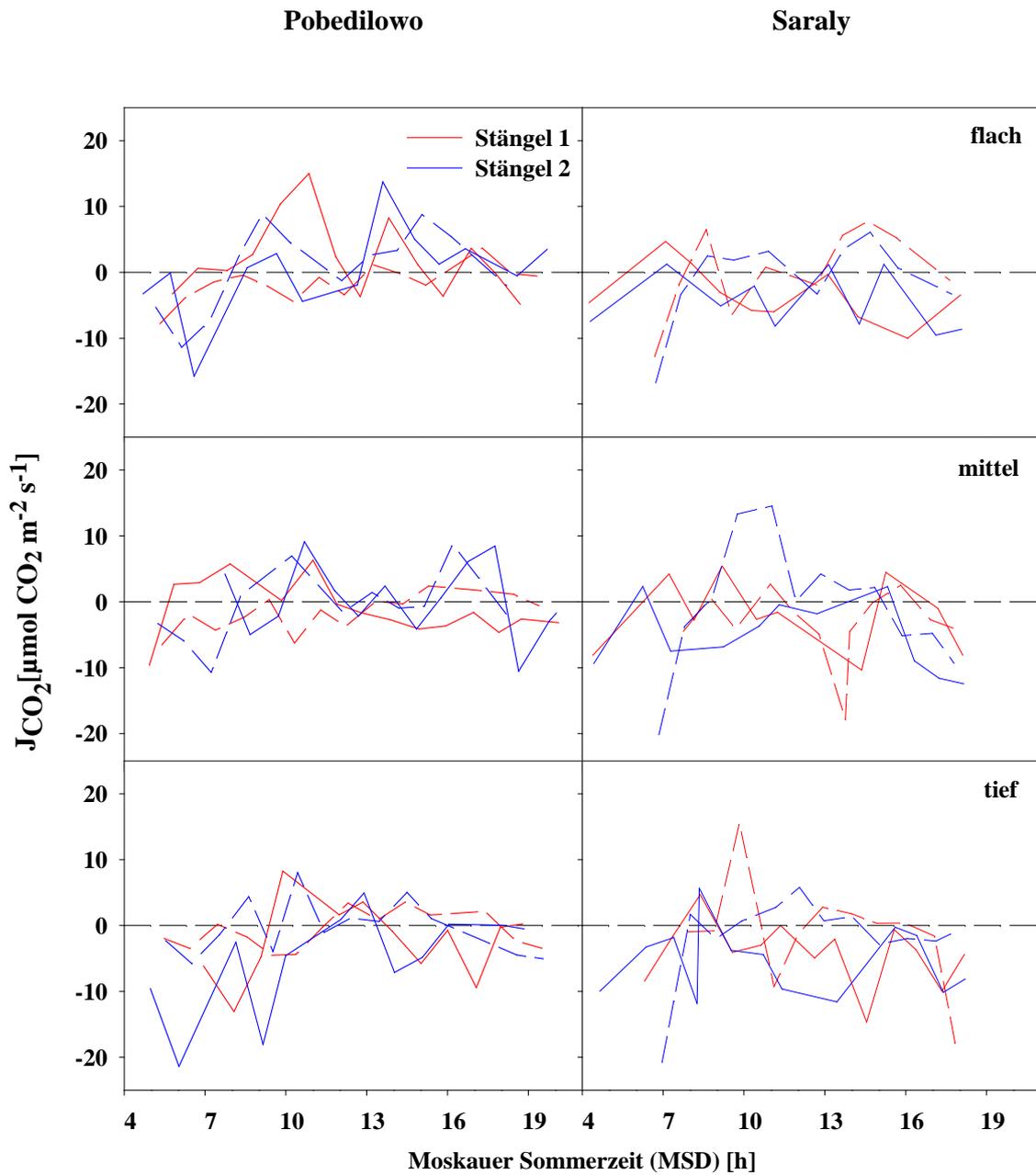
---

tiefere Wasserstand signifikant zu. Der Kohlenstoff nahm dagegen vom flachen zum mittleren Wasserstand zu und zum tiefen Wasserstand wieder signifikant ab (Tab. 18). Das signifikante Verhältnis zwischen den Untersuchungsflächen blieb nur für den Vorrat von Phosphor bestehen (Tab 18). Zwischen den Untersuchungsperioden blieben die signifikanten Verhältnisse bei den Vorräten an Phosphor, Kalium und Mangan erhalten. Auf die Nährstoffvorräte aller untersuchten Parameter hatte der Wasserstand keinen signifikanten Einfluss.

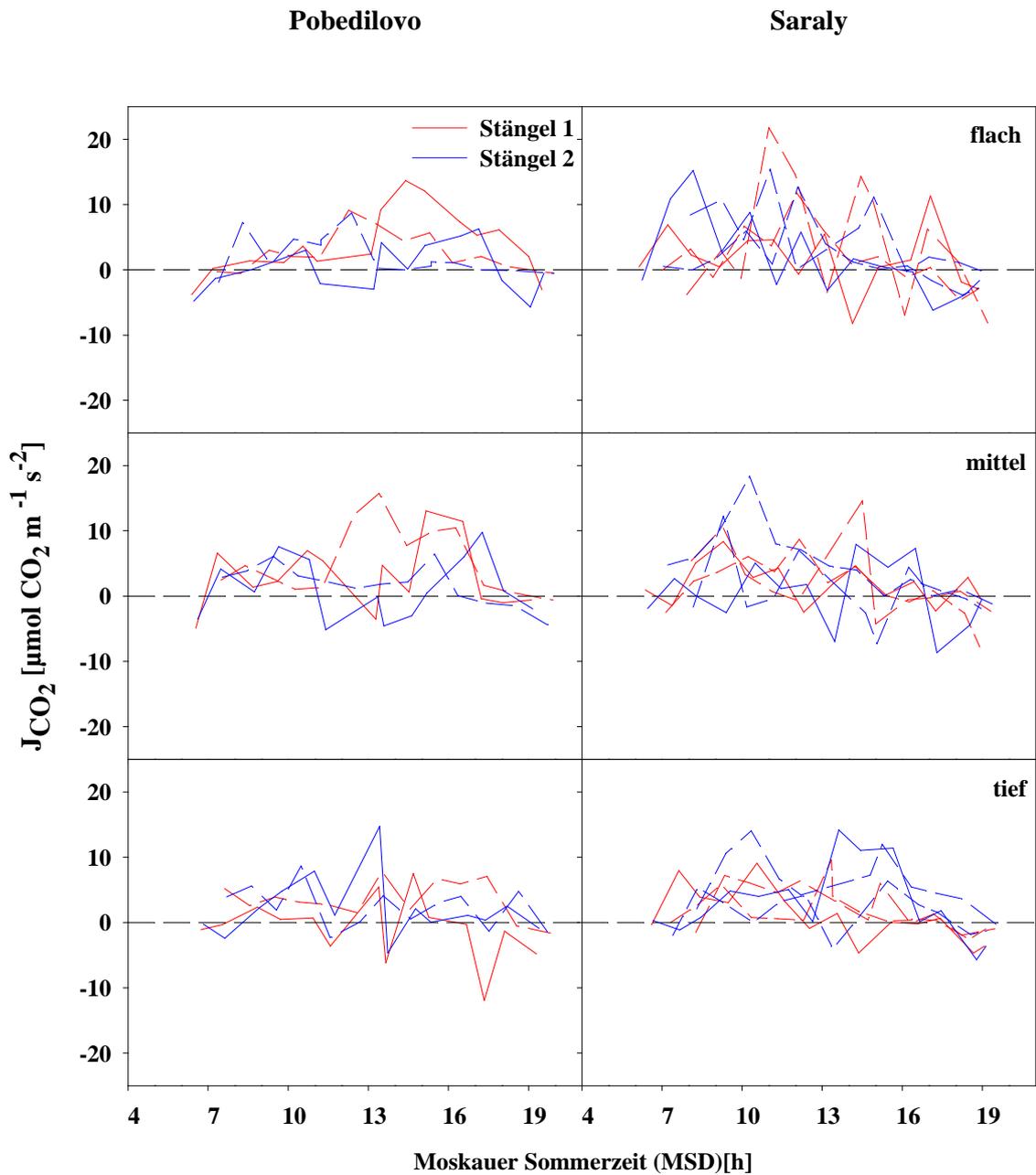
Im Folgenden werden die Resultate für die einzelnen Inhaltsstoffe betrachtet. Der Kohlenstoffgehalt der *Typha*-Pflanzen war in der Untersuchungsperiode 2003 signifikant geringer als in der Untersuchungsperiode 2004. Zwischen beiden Flächen im Hinblick auf den Kohlenstoffgehalt bestanden keine signifikanten Unterschiede. Vom flachen Wasserstandsbereich der *Typha*-Bestände stieg der Kohlenstoffgehalt der Stängel zum mittleren Bereich leicht an und fiel im tiefen Bereich stark ab (Mittelwerte in [mg], Flach: 444,1; Mittel: 447,8; Tief: 435,2 ; Tab. 18). Dieser Zusammenhang war für beide Untersuchungsperioden hoch signifikant. Allerdings bestanden keine signifikanten Unterschiede für den Vorrat von Kohlenstoff in Bezug auf die Faktoren Untersuchungsfläche (Pobedilowo, Saraly), Untersuchungsperiode (2003, 2004) und Wasserstand (flach, mittel, tief; Tab. 18). Der Stickstoffgehalt der Stängel war auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo (im Mittel 8,0 mg/g) signifikant höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly (im Mittel 7,2 mg/g). Zwischen den Untersuchungsperioden bestanden keine signifikanten Unterschiede. Der Stickstoffgehalt der Stängel stieg stetig mit tieferem Wasserstand signifikant an (Tab. 18). Wie schon bei dem Kohlenstoffgehalt waren diese Zusammenhänge auch für den Vorrat an Stickstoff nicht zu finden. Der Phosphorgehalt der Stängel der Fläche Pobedilowo war signifikant höher als der Phosphorgehalt der Stängel auf der Untersuchungsfläche Saraly. Zugleich war auch der Phosphorgehalt der Stängel in der Untersuchungsperiode 2003 signifikant höher als in der Untersuchungsperiode 2004. Diese beiden Zusammenhänge trafen auch für den Nährstoffvorrat an Phosphor zu. Mit tieferem Wasserstand stieg der Phosphorgehalt signifikant stetig an. Dieser Zusammenhang war für den Nährstoffvorrat an Phosphor nicht festzustellen. Auch der Kaliumgehalt der Stängel stieg im tiefen Wasserstand signifikant an. Der Kaliumgehalt der Stängel in der Untersuchungsperiode 2003 war signifikant höher als in der Untersuchungsperiode 2004. Unterschiede zwischen den Flächen Saraly und Pobedilowo waren jedoch nicht festzustellen. Für den Magnesiumgehalt waren für die

---

Faktoren Wasserstand und Fläche keine Unterschiede festzustellen. Auch hier war der Magnesiumgehalt in der Untersuchungsperiode 2003 signifikant höher als in der Untersuchungsperiode 2004. Für den Nährstoffvorrat an Magnesium in Bezug auf die Faktoren waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Bei den Schwermetallen Eisen und Mangan zeigten sich für die Faktoren Untersuchungsfläche und Wasserstand keine Unterschiede, aber der Mangangehalt und Manganvorrat in der Untersuchungsperiode 2003 war signifikant höher als in der Untersuchungsperiode 2004. Allerdings zeigten sich hier auch bei dem Eisengehalt und Eisenvorrat keine Unterschiede. Das von KOERSELMAN & MEULEMAN 1996 aufgestellten N:P Verhältnis stellt ein Hilfsmittel zur Überprüfung von Nährstofflimitierung bei Feuchtgebietspflanzen dar. Trägt man den Stickstoffgehalt gegen den Phosphorgehalt der Pflanzengewebe auf, so zeigte sich, dass unabhängig von den Untersuchungsperioden, Untersuchungsflächen und Transektpunkten *Typha angustifolia* am Kuibyschew-Reservoir limitiert für Stickstoff war (Abb. 18).



**Abbildung 19:** Tagesgänge der CO<sub>2</sub>-Gaswechselformen an den unterschiedlichen Wasserständen des Transekts (flach, mittel, tief) in Untersuchungsperiode 2003 auf beiden Untersuchungsflächen (Saraly, Pobedilowo). An jedem Stängel der unterschiedlichen Transekte wurden zwei Tagesgänge gemessen (durchgezogene und unterbrochene Linie). Werte im negativen Bereich (unterhalb der Null-Linie) zeigen eine CO<sub>2</sub>-Abgabe des Blattes an.

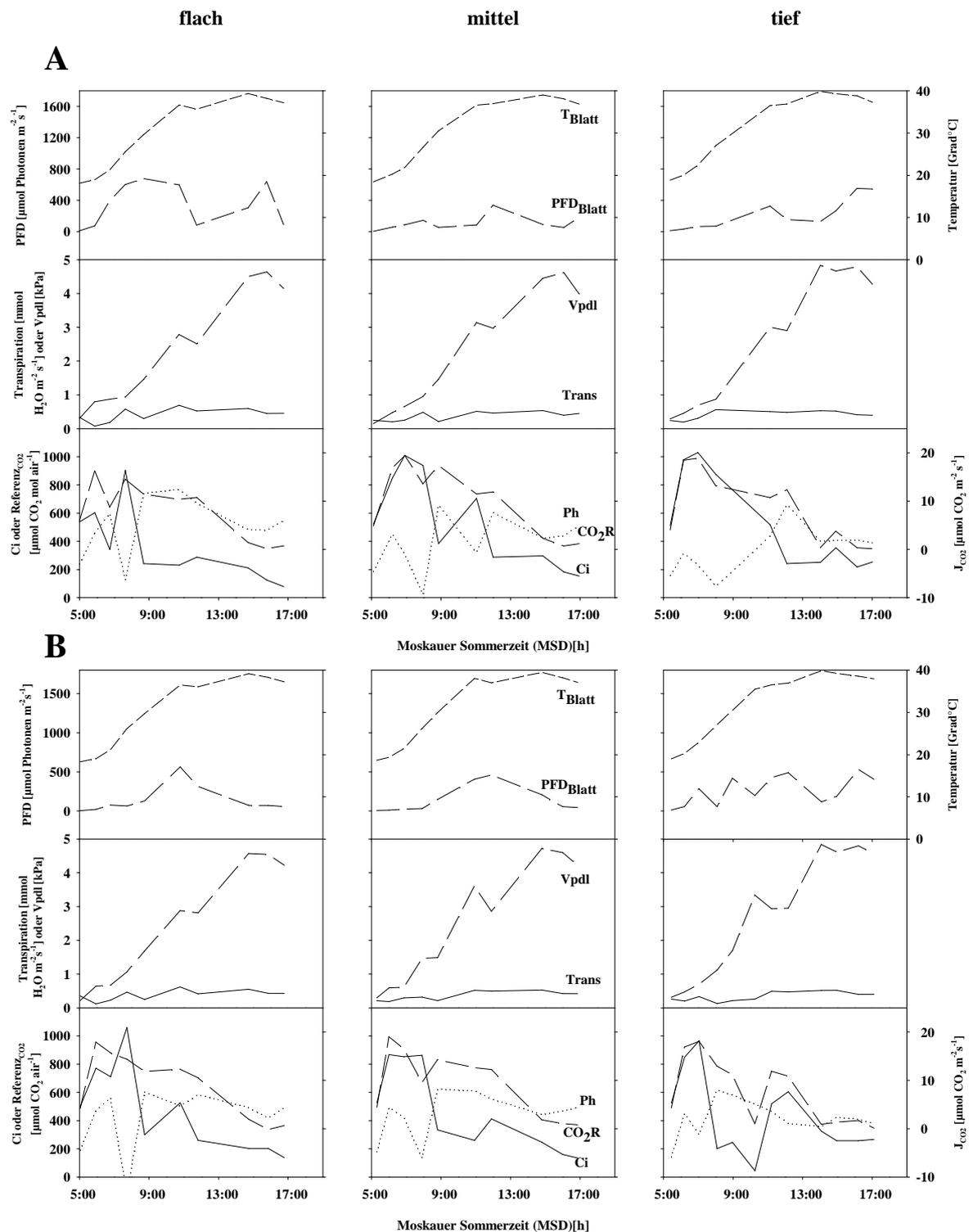


**Abbildung 20:** Tagesgänge der CO<sub>2</sub>-Gaswechselformen an den unterschiedlichen Wasserständen des Transekts (flach, mittel, tief) in Untersuchungsperiode 2004 auf beiden Untersuchungsflächen (Saraly, Pobedilowo). An jedem Stängel der unterschiedlichen Transekte wurden zwei Tagesgänge gemessen (durchgezogene und unterbrochene Linie). Werte im negativen Bereich (unterhalb der Null-Linie) zeigen eine CO<sub>2</sub>-Abgabe des Blattes an.

### 3.5. Ergebnisse der Gaswechseluntersuchungen

#### 3.5.1. Ergebnisse des CO<sub>2</sub>-Gaswechsels

Die Resultate der CO<sub>2</sub>-Gaswechselfmessungen sind in Abbildung 19 und 20 zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass alle CO<sub>2</sub>-Tageskurven keinen „typischen tageszeitlicher Verlauf“ aufweisen. Im Tagesverlauf kam es durch die Blätter der Stängel oft zur „untypischen“ CO<sub>2</sub>-Abgabe (Abb. 19 und Abb. 20). Dieses war besonders in den Tagesgängen der Untersuchungsperiode 2003 festzustellen. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme der Blätter war in der Untersuchungsperiode 2004 signifikant höher als in der Untersuchungsperiode 2003 (F= 97,35; p<0,001). Signifikante Unterschiede zwischen den Flächen bestanden dabei nicht. Auch zwischen den Transektpunkten flach, mittel und tief bestanden keine signifikanten Unterschiede. In der Untersuchungsperiode 2003 wurden Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Aufnahme bis zu 15,5 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> erreicht (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>, zweiter Tagesgang Saraly, Transekt Tief, Stängel 1, Abb. 19). Die Maximalwerte pendelten zwischen 3 – 15 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> pro Tagesgang und Stängel. Auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo wurden im flachen Transektbereich die höheren Maximalwerte erreicht, während auf der Untersuchungsfläche Saraly die höheren Maximalwerte bei der CO<sub>2</sub>-Aufnahme der Blätter im mittleren und tiefen Transektpunkt vorkamen. In der Untersuchungsperiode 2004 wurde dagegen ein Maximalwert der CO<sub>2</sub>-Aufnahme der Blätter der Stängel von 21,8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> gemessen (zweiter Tagesgang, Transekt flach, Stängel 1, Abb. 20). Ansonsten lagen die Maximalwerte zwischen 6,5 - 18 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Allerdings wurden auf der Fläche Saraly unabhängig vom Transektpunkt höhere Maximalwerte als auf der Fläche Pobedilowo erreicht. Die Werte der CO<sub>2</sub>-Abgabe waren während der Tagesmessgänge in 2003 sowie 2004 außergewöhnlich hoch. Eine Maximalabgabe bis zu 21,4 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> wurde in der Untersuchungsperiode 2003 erzielt (erster Tagesgang Pobedilowo, Transekt Tief, Stängel 2, Abb. 19). Die Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Abgabe variierten im Übrigen zwischen 4,5 – 20 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> pro Tagesgang und Stängel. Diese konnten in allen beiden Untersuchungsflächen und drei Transektpunkten erreicht werden. Bei der CO<sub>2</sub>-Abgabe im Messjahr 2004 wurde ein Wert von 11,9 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> im Maximum gemessen (erster Tagesgang, Transekt Tief, Stängel 1, Abb. 19). Die Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Abgabe lagen ansonsten zwischen 0,3-9,8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.



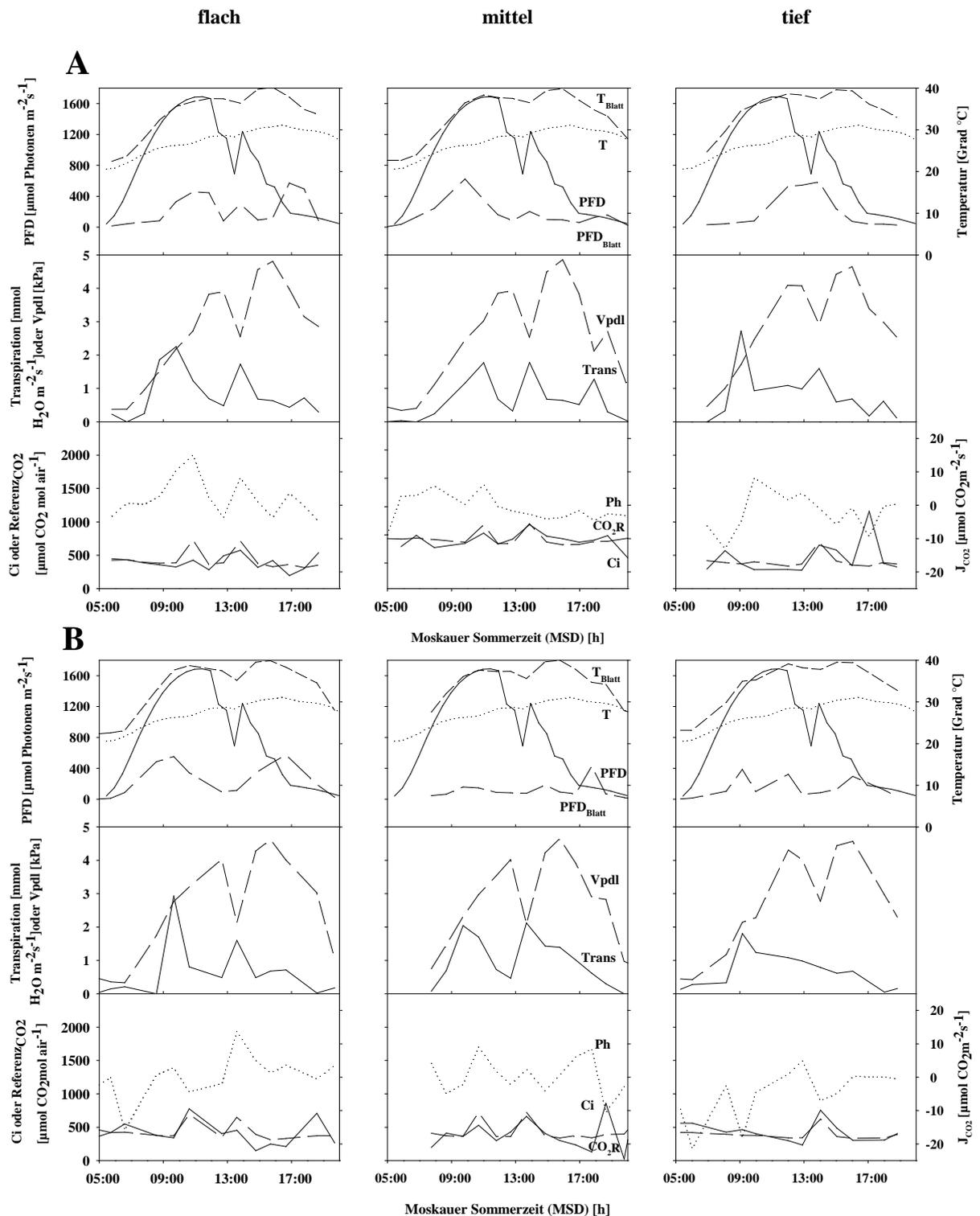
**Abbildung 21:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo (24. Juli 2002) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ), PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselfprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt,  $V_{\text{pdl}}$ ), Transpiration (durchgezogen,  $\text{Trans}$ ), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen,  $C_i$ ),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert,  $\text{Ph}$ ).

---

Diese Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Abgabe in der Untersuchungsperiode 2004 wurden oft erst in der zweiten Tageshälfte (ab 13:00 Uhr) der Tagesgänge gemessen, während in der Untersuchungsperiode 2003 kontinuierlich während des gesamten Tages Spitzenwerte der CO<sub>2</sub>-Abgabe gemessen werden konnten.

### Tagesgänge

Im Untersuchungsjahr 2002 konnte nur ein Tagesgang am 24. Juli gemessen werden. Die wichtigsten Mikroklima- und Gaswechsellvorgänge wurden in Abbildung 21 graphisch wiedergegeben. Der Tag war heiter mit nur einigen vereinzelt Wolken. So stieg die Temperatur im tageszeitlichen Verlauf stetig an. Dieser Anstieg fand Ausdruck in der Lufttemperatur am Blatt, die bei allen Messstängel auf bis zu 40 °C anstieg (Abb. 21). Die Photonenflussdichte (PFD), die durch das Porometer innerhalb des Bestandes gemessen wurde, erreichte zu unterschiedlichen Tageszeiten Maximalwerte um 600  $\mu\text{mol Photonen}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Zwischen den Messstängel bestanden im Bezug auf das Verhalten den Gaswechsel geringe Unterschiede. Parallel zur Lufttemperatur am Blatt stieg das Wasserdruckdefizit am Blatt (Vpdl) im tageszeitlichen Verlauf bei allen Messstängeln an. Das Vpdl erreichte die höchsten Werte, wie schon die Lufttemperatur am Blatt, am Nachmittag (Abb. 21). Dann wurden Werte von bis zu 4,8 kPa gemessen. Die Transpiration schwankte gering und im Tagesverlauf konnten bei allen Messstängel nur sehr geringe Werte unter 1,0  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  gemessen werden. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Außenluft (CO<sub>2</sub>R) und auch die Interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration (Ci) waren in den Morgenstunden mit Werten von bis zu 1000  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol Luft}^{-1}$  hoch und fielen im Tagesverlauf stark ab. Im Gegensatz zum Ci reagierte der CO<sub>2</sub>-Gaswechsel in den Morgenstunden mit einer CO<sub>2</sub>-Abgabe bei allen Messstängeln. Zuvor hatten die Stängel ab 5:30 Uhr kleine CO<sub>2</sub>-Mengen aufgenommen. Nach der CO<sub>2</sub>-Abgabe um 8:00 Uhr wurden bei fast allen Messstängeln um 9:00 Uhr die CO<sub>2</sub>-Maximalwerte (um 10  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) erreicht, um dann stetig im tageszeitlichen Verlauf wieder abzufallen.

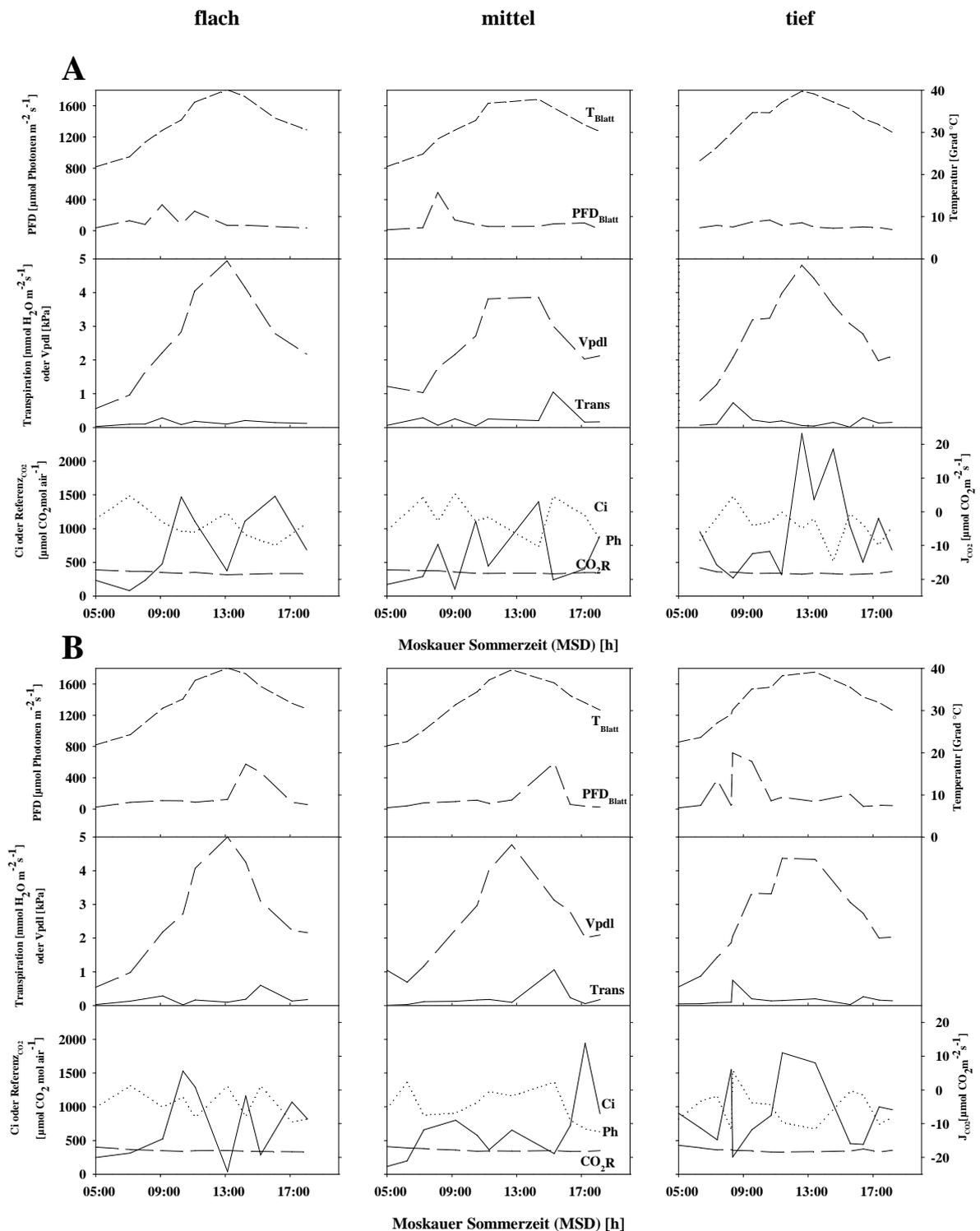


**Abbildung 22:** Erster Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo (5. Aug. 2003) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): externe Sensoren der Mikroklimastation, Lufttemperatur (punktiert, T), PFD (durchgezogen) sowie Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ) PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen, Ci),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci und  $\text{CO}_2\text{R}$  gegenüber 2002).

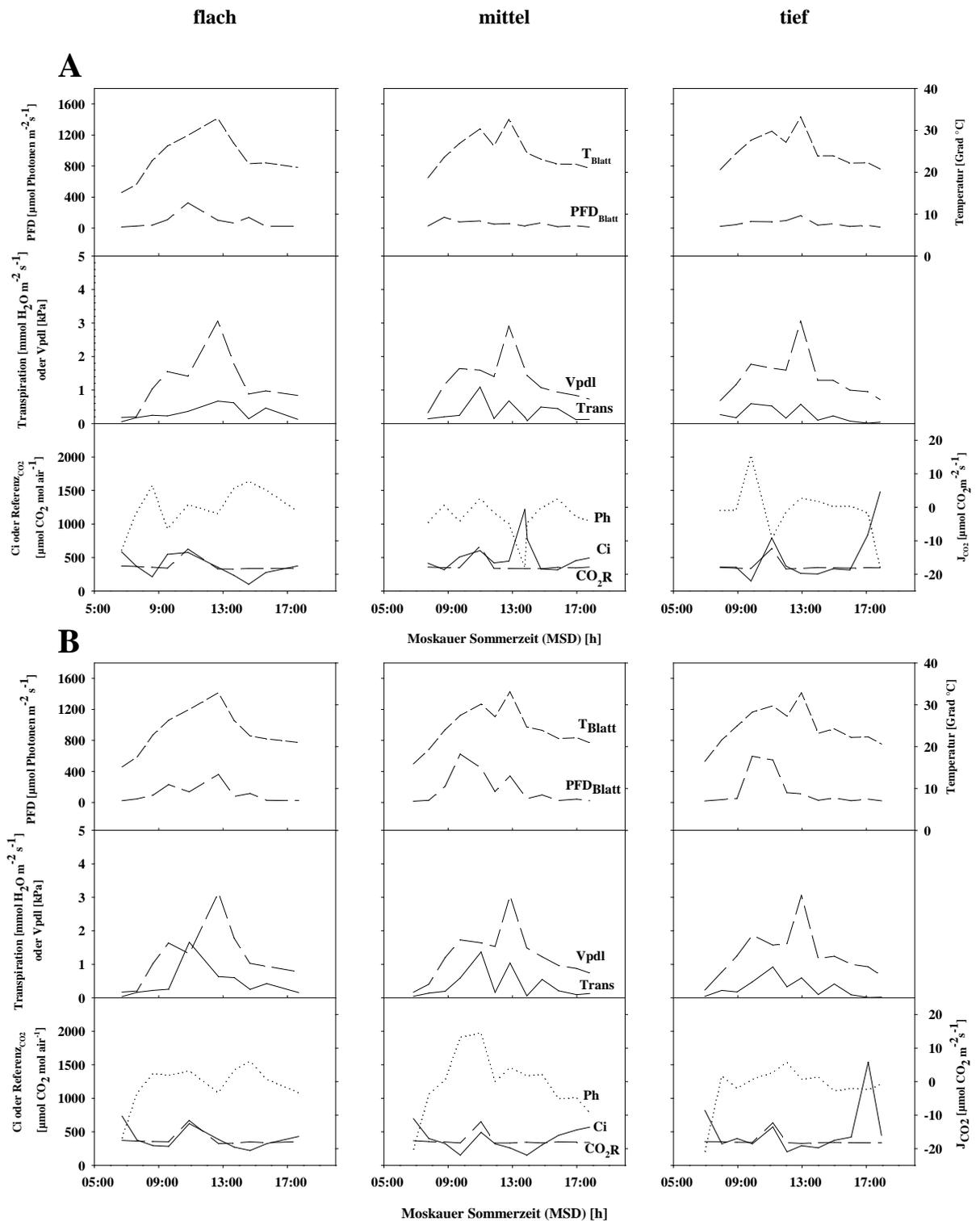


Bei dem ersten Tagesgang 2003 der Untersuchungsfläche Pobedilowo (Abb. 22) handelte es sich um einen heißen Tag. Die Lufttemperatur war schon am Vormittag über 25 °C und stieg im Laufe des Tages auf über 30 °C. Die Lufttemperatur am Blatt stieg dagegen bis auf 40 °C an. Diese Maximalwerte der Lufttemperatur am Blatt wurden aber erst um 16:00 Uhr nachmittags gemessen. Ein Grund für die hohen Temperaturen war die Strahlungsstärke. Da die Strahlung um circa 13:00 Uhr durch Bewölkung zurückging, sank die Temperatur am Blatt, aber die Lufttemperatur blieb konstant. Zwischen der gemessenen Strahlungsmenge des externen Strahlungsmessers sowie der Sensoren des Porometers bestanden starke Differenzen. Die Sensoren des Porometers maßen die Strahlung innerhalb des Bestandes in vertikaler Ausrichtung (siehe Material und Methoden Abschnitt 2.9.1), der horizontal ausgerichtete Sensor der Mikroklimastation (in circa zwei m Höhe) maß aber die auf den Bestand treffende Strahlung. Daher kam es besonders in diesem ersten Tagesgang bei den Messstängeln im flachen und mittleren Transekt dazu, dass die Sensoren des Porometers eine höhere PFD maßen, als der Sensor der Mikroklimastation (Abb. 22 A und B). Die Strahlung war intensiv und stieg während der Mittagsstunden auf 1600  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Dementsprechend stieg während des Tagesganges bei allen Messstängeln die Transpiration bis Maximalwerte zwischen 2 - 3  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  an. Alternierend kam es bei allen Messstängeln in der Mittagszeit um 12:00 Uhr zu einem Abfall der Transpiration, d. h. zu einem Schließen der Spaltöffnungen. Noch stärker als die Temperatur am Blatt reagierte bei allen Messstängeln des Tagesganges das Wasserdruckdefizit am Blatt ( $V_{\text{pdl}}$ ) auf den Einfall der Strahlung um 13:00 Ortszeit (fiel von circa 4,0 kPa auf 2,5 kPa), während die Transpiration noch weiter anstieg. Das  $V_{\text{pdl}}$  stieg dann aber am Nachmittag bis auf Werte von fast 5,0 kPa erneut an. Der  $\text{CO}_2$ -Gaswechsel bei allen Messstängeln zeigte sich dagegen unbeeindruckt von diesen mikroklimatischen Veränderungen und gab im Tagesverlauf mal  $\text{CO}_2$  ab oder nahm  $\text{CO}_2$  auf. Wobei besonders die Messstängel im flachen Transekt die höchsten  $\text{CO}_2$ -Aufnahmen (um 15  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) aufwiesen. Indessen nahmen die Messstängel im mittleren und tiefen Wasserstand den ganzen Nachmittag ab 13:00 Uhr trotz hoher Transpiration kein  $\text{CO}_2$  mehr auf (Abb. 22).

Beim zweiten Tagesgang 2003 auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo war die Beeinflussung durch Bewölkung stärker als beim ersten Tagesgang auf dieser Fläche (Abb. 23). Die Photonenflußdichte (PFD) schwankte und erreichte Höchstwerte um 1200  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Dementsprechend schwankte auch die Temperatur an den Blättern



**Abbildung 24:** Erster Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly (7. Aug. 2003) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ) und PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt,  $V_{\text{pdl}}$ ), Transpiration (durchgezogen,  $\text{Trans}$ ), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen,  $C_i$ ),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_{2\text{R}}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert,  $\text{Ph}$ ) (= veränderte Skalierung für  $C_i$  und  $\text{CO}_{2\text{R}}$  gegenüber 2002).

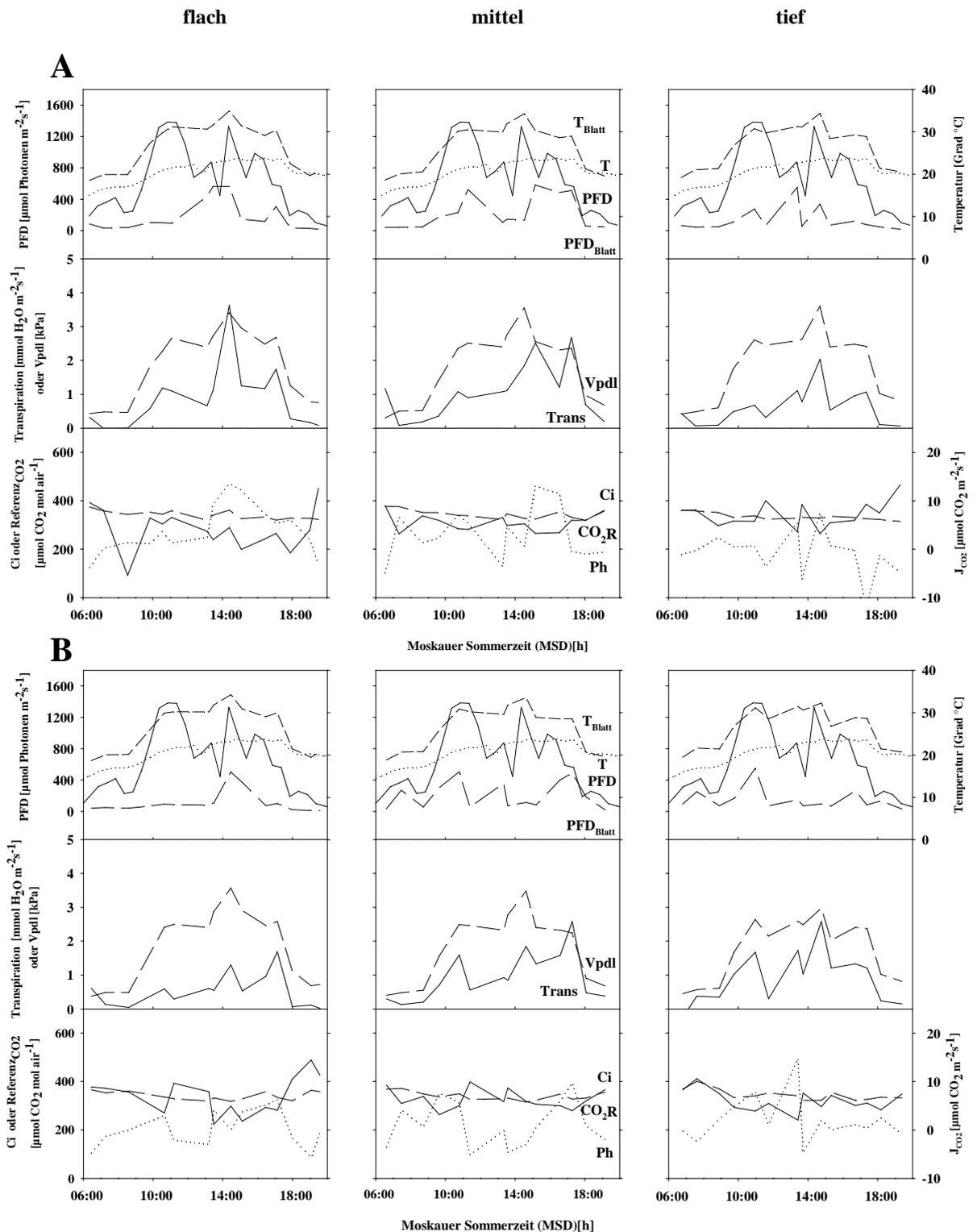


**Abbildung 25:** Zweiter Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly (18. Aug. 2003) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ) und PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen, Ci),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci und  $\text{CO}_2\text{R}$  gegenüber 2002).

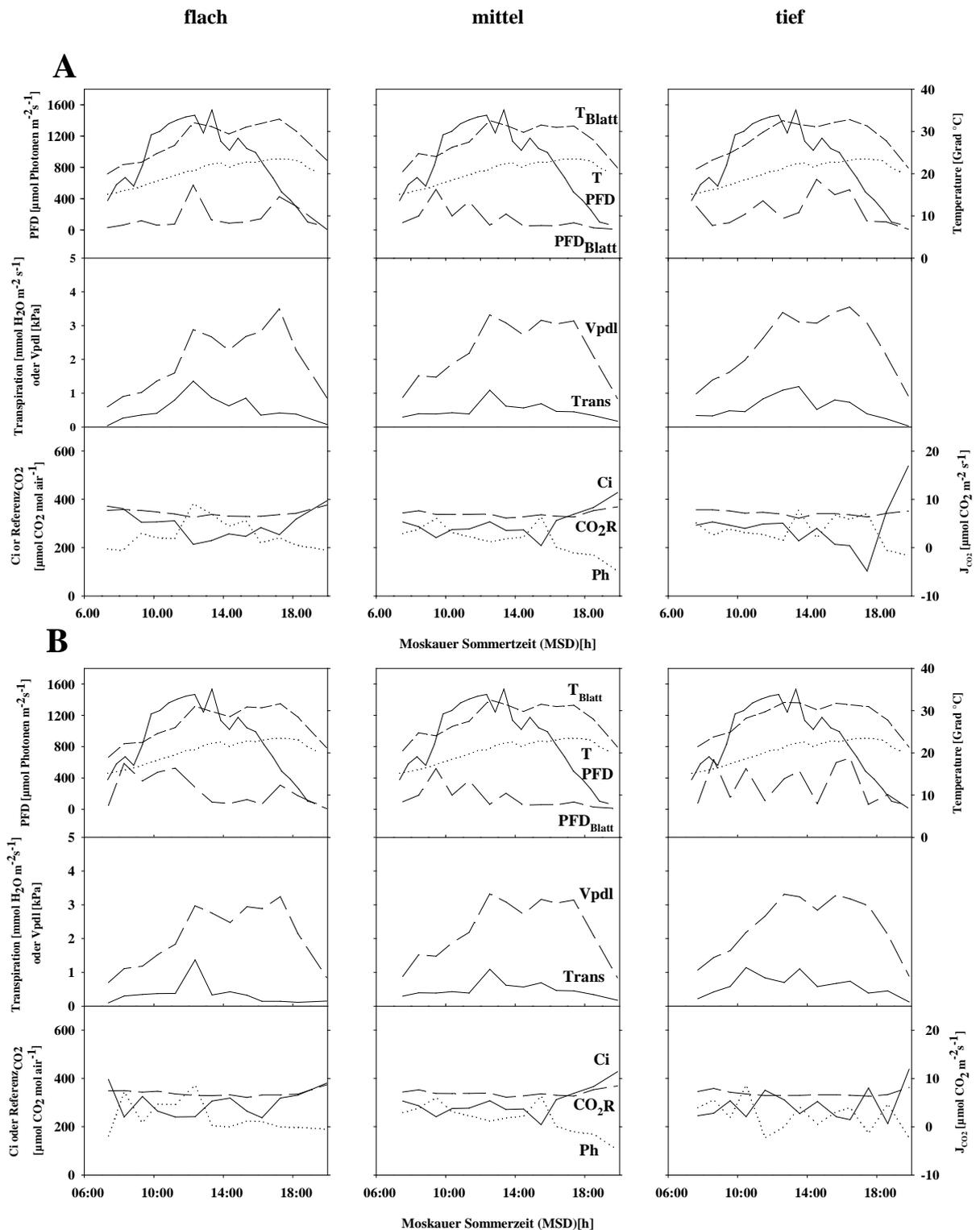
der Messstängel und erreichte erst am Nachmittag Temperaturen um 34 °C. Die Lufttemperatur stieg im Tagesverlauf stetig von 20 °C auf 26 °C an. Der Vpdl reagierte ebenfalls auf die Bewölkung und fiel am Morgen gegen 10:00 Uhr kurzweilig ab. Die Transpiration aller Messstängel blieb im Tagesverlauf gering und überstieg nicht 1,0 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate erreichte Maximalwerte von 8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, was allerdings nur an den Stängel im Transekt A erzielt wurde, während im Transekt B geringe CO<sub>2</sub>-Aufnahme festgestellt wurde (vgl. Abb. 23 A und B).

Auf der Untersuchungsfläche Saraly war in der Untersuchungsperiode 2003 die Mikroklimastation ausgefallen, so dass diese Messungen bei der Darstellung der Gaswechselfvorgänge dieser Fläche in den Abbildungen 24 und 25 nicht berücksichtigt werden konnten. Der erste Tagesgang der Untersuchungsfläche Saraly am 7. August war ebenfalls so heiß wie auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo (Abb. 24). Die Temperatur am Blatt stieg bei allen Stängeln auf teilweise über 40 °C an. Der Messgang wurde nicht durch Bewölkung beeinflusst. Das Vpdl stieg bei allen Messstängeln stark an und erreichte im Maximum zwischen 4,0 bis 5,0 kPa. Die Transpiration war unabhängig von der Wassertiefe und Messstängel sehr gering. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme stand mit den mikroklimatischen Veränderungen nicht in Beziehung und der Gaswechsel schwankte im Tagesverlauf zwischen CO<sub>2</sub>- Ab- und Aufnahme. Ein untypisches Verhalten zeigte die interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration (C<sub>i</sub>, vgl. Abb. 24). Diese schwankte stark und zeigte hohe maximale Konzentrationen von über 2000 μmol CO<sub>2</sub> mol Luft<sup>-1</sup>.

Der zweite Tagesgang am 18. August auf der Untersuchungsfläche Saraly war wesentlich kühler und bewölkter als der erste Tagesgang dieser Fläche (Abb. 25). Die Temperatur am Blatt stieg auf einen Maximalwert von 32 °C und fiel am Nachmittag schnell auf 21-23 °C ab. Dementsprechend war auch das Vpdl niedriger und erreichte Werte von 3,0 kPa im Maximum. Die Transpiration war ebenfalls niedrig. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme erzielte dagegen Maximalwerte von 15 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Trotzdem kam es während des Tagesverlaufs auch in den Mittagsstunden wieder zu CO<sub>2</sub>-Abgaben. Die interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration schwankte nur leicht und es wurden nicht so hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wie beim ersten Tagesgang gemessen. So konnte bei einem Messstängel im Transekt B im mittleren Wasserstand einen fast zu erwarteter „typisch tageszeitlicher Verlauf“ beobachtet werden (vgl. Abb. 25 B, mittel).



**Abbildung 26:** Erster Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo (3. Aug. 2004) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): externe Sensoren der Mikroklimastation, Lufttemperatur (punktiert, T), PFD (durchgezogen) sowie Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ) PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen, Ci),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci,  $\text{CO}_2\text{R}$  und  $J_{\text{CO}_2}$  gegenüber 2002 und 2003).

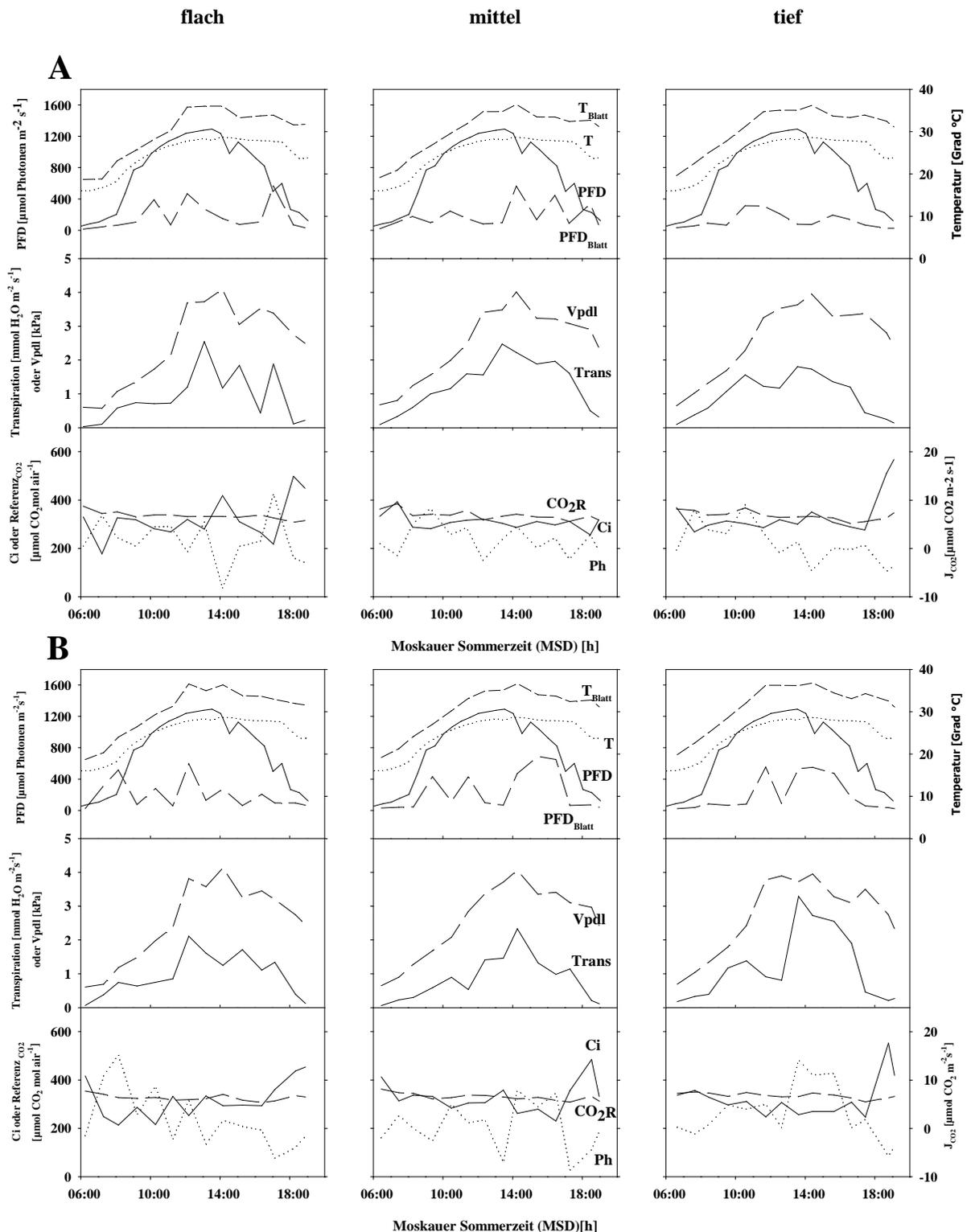


**Abbildung 27:** Zweiter Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo (17. Aug. 2004) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): externe Sensoren der Mikroklimastation, Lufttemperatur (punktiert, T), PFD (durchgezogen) sowie Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ) PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen, Ci),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci,  $\text{CO}_2\text{R}$  und  $J_{\text{CO}_2}$  gegenüber 2002 und 2003).

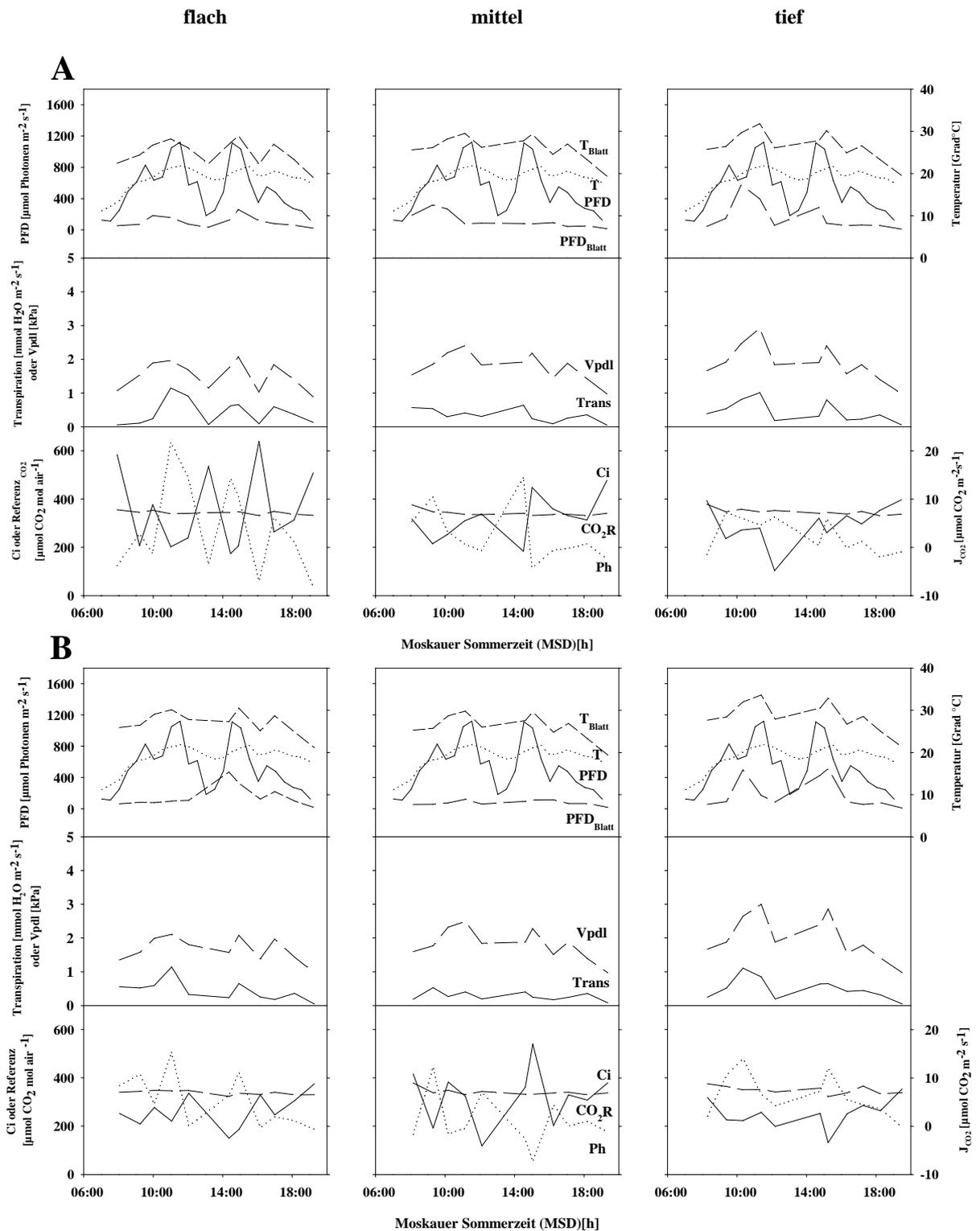
Der erste Tagesgang am 3. August auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo der Untersuchungsperiode 2004 war durch leichte Bewölkung und maximale Lufttemperaturen von 23 °C geprägt (Abb. 26). Die Strahlung (PFD) stieg am Morgen auf einen Maximalwert von 1400  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$  und fiel dann in der Mittagszeit durch Bewölkung auf 450  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ab, um am Nachmittag noch mal auf 1300  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$  anzusteigen. Dementsprechend schwankte die Temperatur am Blatt bei allen Messstängeln und war ebenfalls so hoch wie an den anderen Messtagen (Maximum 32 Grad °C). Das Vpdl stieg bei allen Messstängeln am Morgen an und erreichte sein Maximum gegen 14:00 Uhr. Das Vpdl zeigte bei allen Messstängeln keine Reaktion auf den Strahlungsabfall in der Mittagszeit. Die Transpiration zeigte ebenfalls keine Reaktion auf die Strahlung, als auch auf die geringe Lufttemperatur. Die Transpiration war hoch und erreichte Werte von 3,5  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Zwischen dem  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene und den mikroklimatischen Veränderungen im Tagesverlauf waren auch bei diesem Tagesgang keine Zusammenhänge zu erkennen. So kam es zum Beispiel um circa 14:00 Uhr, zum Zeitpunkt der niedrigsten Strahlung (PFD), zur maximalen  $\text{CO}_2$ -Aufnahme (14,7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; Transekt B, tief; Abb. 26 B). Die  $\text{CO}_2$ -Abgabe fand auch bei diesem Tagesgang während des Tages statt.

Der zweite Tagesgang am 17 August auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo 2004 war im Gegensatz zum ersten Tagesgang ohne Bewölkung (Abb. 27). Die maximale Lufttemperatur stieg nicht über 23 °C im Maximum. Auch die Temperatur am Blatt verhielt sich unverändert (Maximum 32 °C). Das Vpdl stieg parallel zur Strahlung (PFD) im Tagesverlauf an und auch wieder ab und erreicht maximal 3,4 kPa. Die Transpiration blieb ebenfalls niedrig. Die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme war niedrig (maximal 7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), aber bei allen Messstängeln, außer dem Stängel im Transekt B im tiefen Wasserstand, kam es während des Tages zu keiner  $\text{CO}_2$ -Abgabe (Abb. 27 B).

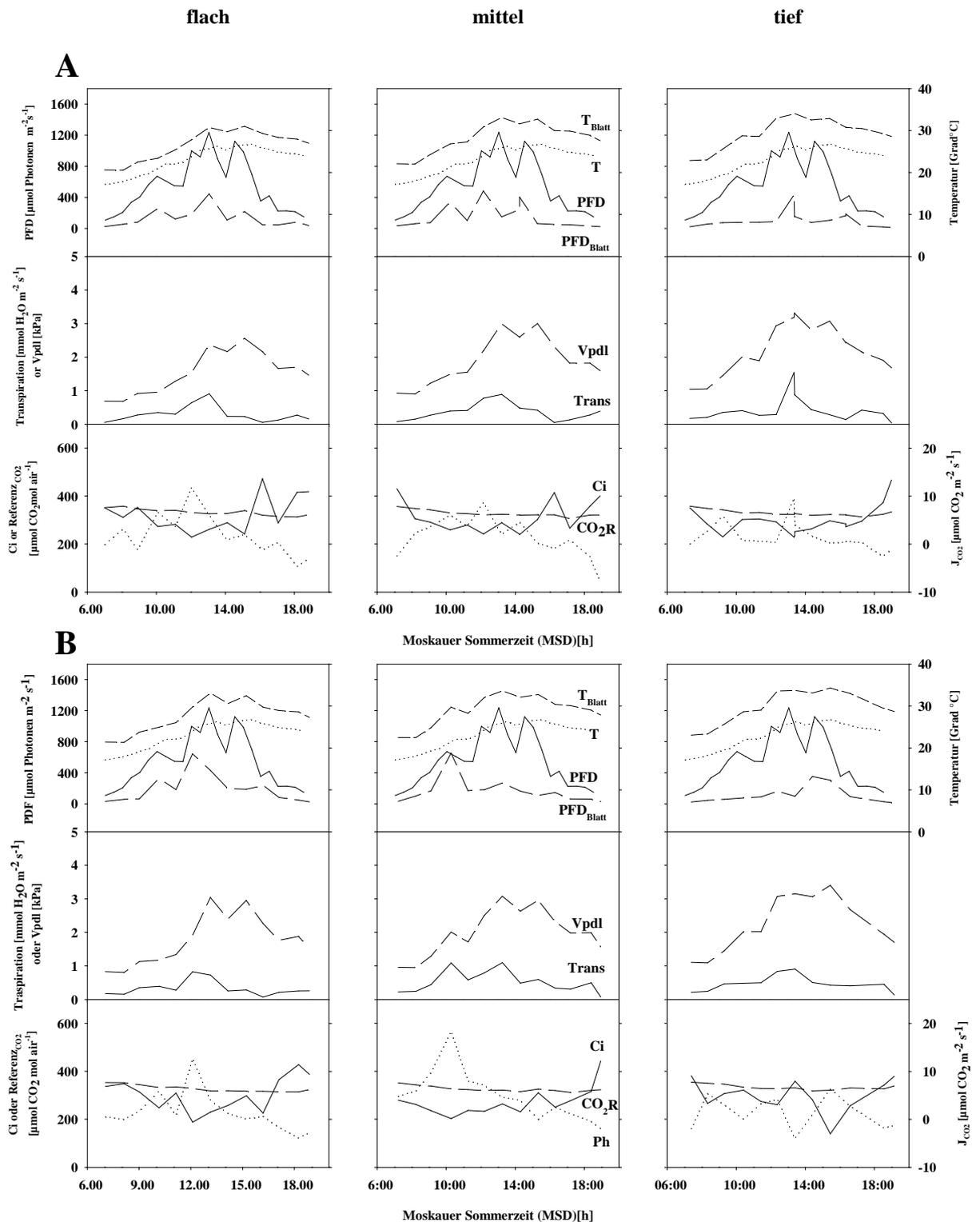
Der erste Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly in der Untersuchungsperiode 2004 am 6. August war wolkenlos und deutlich wärmer als die Tagesgänge der Untersuchungsfläche Pobedilowo (Abb. 28, Seite 69). Die Lufttemperatur erreichte als Spitzenwert 29 °C (14:00 Uhr) und die Strahlung (PFD) lag im Maximum bei 1300  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (13:30 Uhr). Wobei die PFD stetig in den Morgenstunden anstieg und am Nachmittag wieder abfiel.



**Abbildung 28:** Erster Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly (6. Aug. 2004) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transektpunkt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): externe Sensoren der Mikroklimastation, Lufttemperatur (punktiert, T), PFD (durchgezogen), sowie Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ), PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen, Ci),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci,  $\text{CO}_2\text{R}$  und  $J_{\text{CO}_2}$  gegenüber 2002 und 2003).



**Abbildung 29:** Zweiter Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly (13. Aug. 2004) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transekt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): externe Sensoren der Mikroklimastation, Lufttemperatur (punktiert, T), PFD (durchgezogen) sowie Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ), PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselfprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration (durchgezogen, Ci), CO<sub>2</sub>-Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte, CO<sub>2</sub>R) und CO<sub>2</sub>-Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci, CO<sub>2</sub>R und  $J_{\text{CO}_2}$  gegenüber 2002 und 2003).



**Abbildung 30:** Dritter Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly (19. Aug. 2004) im ersten Transekt (A) und im zweiten Transekt (B) für die jeweiligen Stängel am Transekt (flach, mittel, tief). Außenfaktoren (obere Graphen): externe Sensoren der Mikroklimastation, Lufttemperatur (punktiert, T), PFD (durchgezogen), sowie Temperatur am Blatt (kurz gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ), PFD am Blatt (lang gestrichelt,  $\text{PFD}_{\text{Blatt}}$ ). Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): das Wasserdruckdefizit der Blattoberfläche (lang gestrichelt, Vpdl), Transpiration (durchgezogen, Trans), sowie interzelluläre  $\text{CO}_2$ -Konzentration (durchgezogen, Ci),  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Außenluft (lang gestrichelte,  $\text{CO}_2\text{R}$ ) und  $\text{CO}_2$ -Fluß auf der Blattebene (punktiert, Ph) (= veränderte Skalierung für Ci,  $\text{CO}_2\text{R}$  und  $J_{\text{CO}_2}$  gegenüber 2002 und 2003).

Die Temperatur am Blatt des ersten Tagesgangs 2004 auf der Untersuchungsfläche Saraly war bei den Messstängeln im tiefen Wasserstand geringfügig höher als bei den Stängeln des flachen und mittleren Wasserstands (zwischen 1-2 °C). Folglich war das  $V_{pd}$  und die Transpiration an diesem Tag ebenfalls bei allen Messstängeln hoch ( $V_{pd,max}$ : 4,1 kPa;  $Trans_{max}$ : 3,3 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Wiederum bestand kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Gaswechsel und den mikroklimatischen Verhältnissen. So kam es hauptsächlich während der Morgenstunden zur CO<sub>2</sub>-Aufnahme und während der Mittags- und Nachmittagsstunden zur CO<sub>2</sub>-Abgabe. Die Höchstwerte der CO<sub>2</sub>-Aufnahme lagen bei 15 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Der zweite Tagesgang am 13. August 2004 auf der Untersuchungsfläche Saraly war kühl und in der Mittagszeit zeitweise bewölkt (Abb. 29). Die Lufttemperatur lag bei 20 °C und fiel durch die Bewölkung in der Mittagszeit sogar leicht ab (Maximum 22 °C). Die Temperatur am Blatt verhielt sich parallel zur Lufttemperatur und die Maximumtemperatur lag bei 30 °C. Die PFD stieg am Vormittag stetig auf 1100 μmol Photonen<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> an und fiel durch die Bewölkung um circa 11:00 Uhr abrupt auf 200 μmol Photonen m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ab um dann erneut auf 1100 μmol Photonen m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> anzusteigen. Diese mikroklimatischen Veränderungen hatten Auswirkungen auf das  $V_{pd}$  und die Transpiration. Das  $V_{pd}$  zeigte parallel zur PFD bei allen Messstängeln das gleiche Verhalten. Die Höchstwerte lagen zwischen 2 und 2,5 kPa. Die Transpiration war bei allen Messstängeln sehr niedrig und zeigte bei einigen Stängeln den gleichen Einbruch in den Mittagsstunden. Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate schwankte bei den meisten *Typha*-Stängeln im Tagesverlauf stark und die interzelluläre CO<sub>2</sub>-Konzentration schwankte antagonistisch mit. Auch während dieses Tagesgangs kam es bei einigen Messstängeln zur CO<sub>2</sub>-Abgabe. Während dieses Tagesgangs wurde die höchste CO<sub>2</sub>-Aufnahme mit 21,8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> gemessen (Transekt A, flach, Abb. 29 A).

Der dritte Tagesgang der Untersuchungsfläche Saraly am 19. August 2004 war wärmer als der vorausgegangene und nur leicht bewölkt (Abb. 30). Die Lufttemperatur stieg von 17 °C langsam im Laufe des Vormittags an und erreichte am Nachmittag 27 °C. Die PFD erreichte am Mittag mit 1200 μmol Photonen m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> sein Maximum und hatte am Nachmittag durch Bewölkung einen leichten Einbruch. Die Temperatur am Blatt sank von den Stängeln im tiefen Wasserstand (im Mittel 29,9 °C) zu den Stängeln im flachen Wasserstand (Mittel 26,5 °C); (Abb. 30 A). Auf diesen Temperaturabfall innerhalb des

**Tabelle 19:** Ergebnisse der ANOVA für die Parameter CO<sub>2</sub>-Austauschrate (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>), stomatäre Leitfähigkeit (g), Transpiration (Trans), Wasserdruckdefizit an der Blattoberfläche (Vpdl) und Temperatur am Blatt in Beziehung zu den Faktoren Untersuchungsperiode (Periode 2002, 2003, 2004), Untersuchungsfläche (Fläche Pobedilowo und Saraly) und Wasserstand (flach, mittel, tief). Gesonderte Berechnung der Untersuchungsperioden 2003 und 2004.

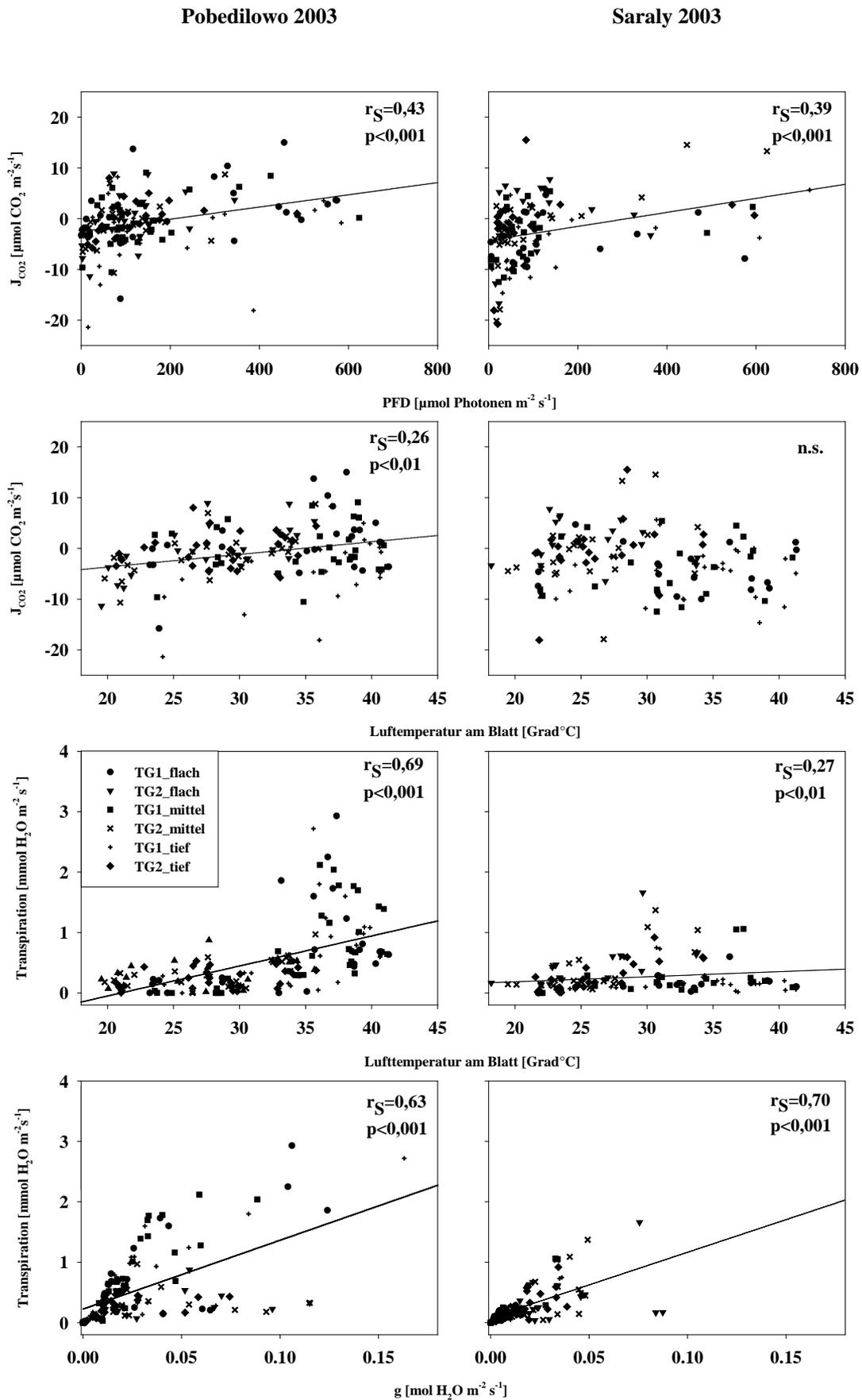
| Faktor                      | Periode      |              |              |             |                  | Fläche       |              |             |                  | Wasserstand |             |             |            |                 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------------|--------------|--------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------------|
|                             | 2002         | 2003         | 2004         | F           | P                | Pob          | Sar          | F           | P                | Flach       | Mittel      | Tief        | F          | p               |
| J <sub>CO<sub>2</sub></sub> | <b>0,7</b>   | <b>-1,7</b>  | <b>2,2</b>   | <b>52,3</b> | <b>&lt;0,001</b> | 0,7          | 0,6          | 2,4         | n.s.             | 1,0         | 0,6         | 0,3         | 1,3        | n.s.            |
| g                           | <b>0,024</b> | <b>0,021</b> | <b>0,030</b> | <b>12,1</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>0,029</b> | <b>0,023</b> | <b>17,5</b> | <b>&lt;0,001</b> | 0,026       | 0,028       | 0,025       | 1,2        | n.s.            |
| Trans                       | <b>0,39</b>  | <b>0,40</b>  | <b>0,63</b>  | <b>24,4</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>0,57</b>  | <b>0,49</b>  | <b>13,0</b> | <b>&lt;0,001</b> | 0,48        | 0,56        | 0,54        | 1,9        | n.s.            |
| Vpdl                        | <b>2,5</b>   | <b>2,0</b>   | <b>2,1</b>   | <b>3,5</b>  | <b>&lt;0,05</b>  | 2,1          | 2,1          | 0,0         | n.s.             | <b>2,0</b>  | <b>2,1</b>  | <b>2,2</b>  | <b>3,4</b> | <b>&lt;0,05</b> |
| T <sub>Blatt</sub>          | <b>30,9</b>  | <b>30,4</b>  | <b>29,3</b>  | <b>3,8</b>  | <b>&lt;0,05</b>  | 30,0         | 29,6         | 0,1         | n.s.             | <b>29,1</b> | <b>29,8</b> | <b>30,6</b> | <b>4,7</b> | <b>&lt;0,01</b> |
| <b>2003</b>                 |              |              |              |             |                  |              |              |             |                  |             |             |             |            |                 |
| J <sub>CO<sub>2</sub></sub> |              |              |              |             |                  | <b>-0,78</b> | <b>-2,7</b>  | <b>7,5</b>  | <b>&lt;0,01</b>  | -0,7        | -1,7        | -2,6        | 2,2        | n.s.            |
| g                           |              |              |              |             |                  | <b>0,025</b> | <b>0,016</b> | <b>9,1</b>  | <b>&lt;0,01</b>  | 0,024       | 0,021       | 0,018       | 1,1        | n.s.            |
| Trans                       |              |              |              |             |                  | <b>0,52</b>  | <b>0,26</b>  | <b>22,9</b> | <b>&lt;0,001</b> | 0,41        | 0,44        | 0,36        | 0,6        | n.s.            |
| Vpdl                        |              |              |              |             |                  | 2,1          | 1,9          | 2,0         | n.s.             | 2,1         | 2,0         | 2,1         | 0,2        | n.s.            |
| T <sub>Blatt</sub>          |              |              |              |             |                  | <b>31,6</b>  | <b>28,9</b>  | <b>13,7</b> | <b>&lt;0,001</b> | 30,1        | 30,2        | 30,8        | 0,5        | n.s.            |
| <b>2004</b>                 |              |              |              |             |                  |              |              |             |                  |             |             |             |            |                 |
| J <sub>CO<sub>2</sub></sub> |              |              |              |             |                  | 1,99         | 2,28         | 0,4         | n.s.             | 2,14        | 2,16        | 2,16        | 0,0        | n.s.            |
| g                           |              |              |              |             |                  | <b>0,035</b> | <b>0,026</b> | <b>9,5</b>  | <b>&lt;0,01</b>  | 0,027       | 0,033       | 0,029       | 1,9        | n.s.            |
| Trans                       |              |              |              |             |                  | 0,66         | 0,61         | 1,1         | n.s.             | <b>0,54</b> | <b>0,67</b> | <b>0,69</b> | <b>3,0</b> | <b>0,05</b>     |
| Vpdl                        |              |              |              |             |                  | 2,0          | 2,1          | 2,7         | n.s.             | <b>1,9</b>  | <b>2,1</b>  | <b>2,3</b>  | <b>5,9</b> | <b>&lt;0,01</b> |
| T <sub>Blatt</sub>          |              |              |              |             |                  | <b>28,4</b>  | <b>30,0</b>  | <b>12,7</b> | <b>&lt;0,001</b> | <b>28,3</b> | <b>29,4</b> | <b>30,2</b> | <b>6,6</b> | <b>&lt;0,01</b> |

Transekts reagierten auch das  $V_{pdl}$  und die Transpiration. So stieg das  $V_{pdl}$  und die Transpiration der Stängel im Transekt A im Tagesmittelmittel vom flachen Wasserstand (1,55 kPa;  $0,29 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) zum mittleren Wasserstand (1,93 kPa;  $0,37 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) und zum tiefen Wasserstand (2,29 kPa;  $0,42 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Außer der Messstängel im tiefen Wasserstand im Transekt B fand bei allen Stängeln im Tagesverlauf nur  $\text{CO}_2$ -Aufnahme statt. Die maximale  $\text{CO}_2$ -Aufnahme des Tagesganges wurde mit  $18,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  im mittleren Wasserstand im Transekt B erreicht (Abb. 30 B).

### 3.5.2. Abhängigkeiten des $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -Gaswechsels

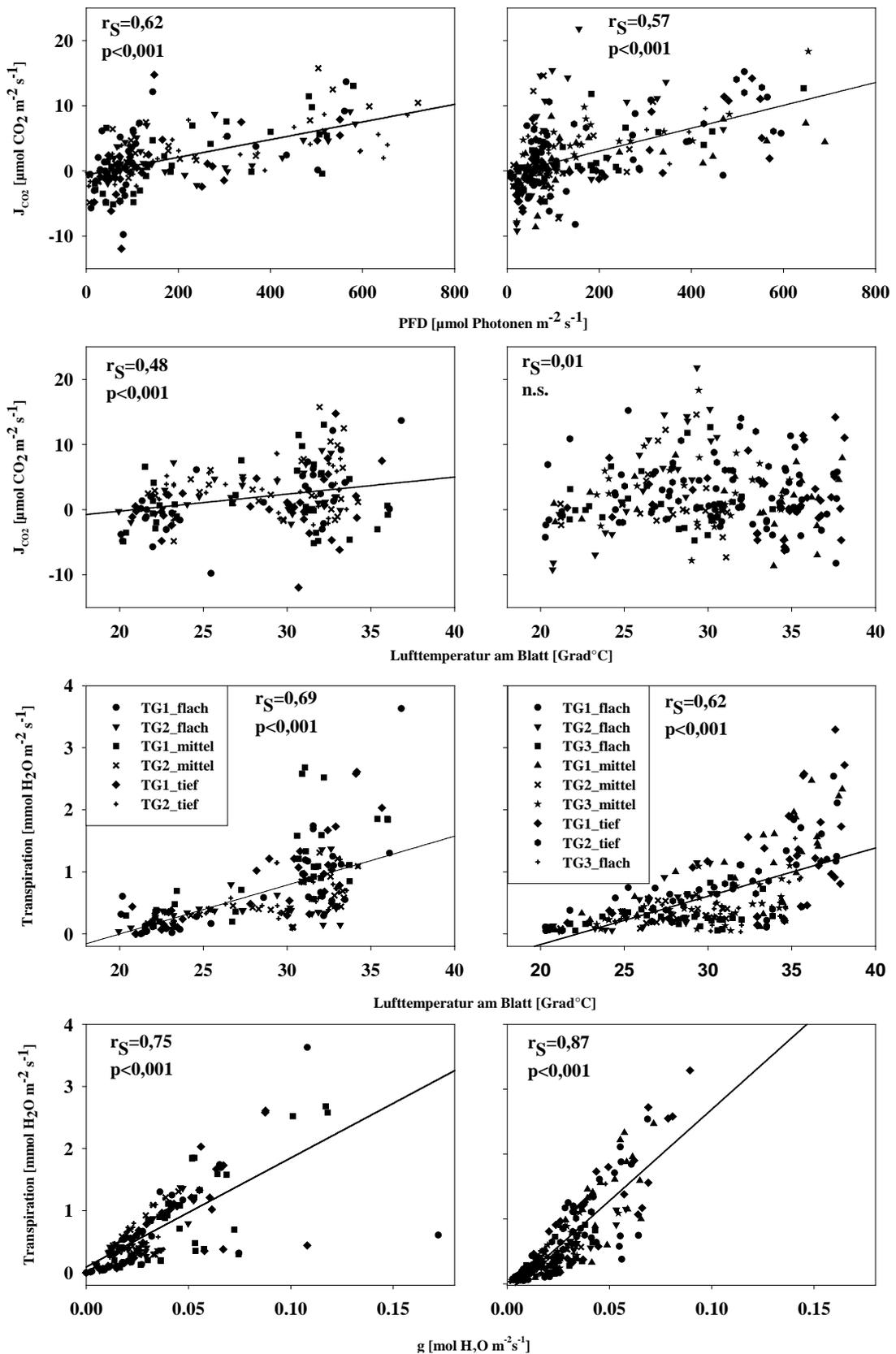
#### Einflüsse der Faktoren Untersuchungsperiode, Untersuchungsfläche und Wasserstand auf den $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -Gaswechsels

Die Ergebnisse der Einflüsse der Faktoren Untersuchungsperiode, Untersuchungsfläche und Wasserstand auf die wichtigsten Gaswechselfparameter sind in Tabelle 19 zusammengefasst. Die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate ( $J_{\text{CO}_2}$ ) war in den drei Untersuchungsperioden (2002-2004) in der Untersuchungsperiode 2003 am niedrigsten und Untersuchungsperioden 2004 am höchsten. Dieser Zusammenhang war hoch signifikant ( $F=52,3$ ;  $p<0,001$ ). Nur in der Untersuchungsperiode 2003 bestand ein sehr signifikanter Unterschied zwischen den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly im Bezug auf der  $\text{CO}_2$ -Austauschrate ( $F=7,5$ ;  $p<0,01$ ). Diese war auf der Untersuchungsfläche Saraly geringer als auf der Untersuchungsflächen Pobedilowo. Tendenziell war die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate der Stängel im flachen Wasserstand höher als im mittleren, und diese wiederum höher als im tiefen Wasserstand. Dieser Effekt war statistisch nicht zu belegen (Tab. 19). Die stomatäre Leitfähigkeit ( $g$ ) war in der Untersuchungsperiode 2004 ( $0,030 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) signifikant höher als in der Untersuchungsperiode 2003 ( $0,021 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) und in der Untersuchungsperiode 2002 ( $0,024 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); ( $F=12,1$ ;  $p<0,001$ ). In allen Untersuchungsperioden war die stomatäre Leitfähigkeit auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo signifikant höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly ( $F=17,5$ ;  $p<0,001$ ). Zwischen dem Wasserstand und der stomatären Leitfähigkeit existierten keine Zusammenhänge.



Pobedilowo 2004

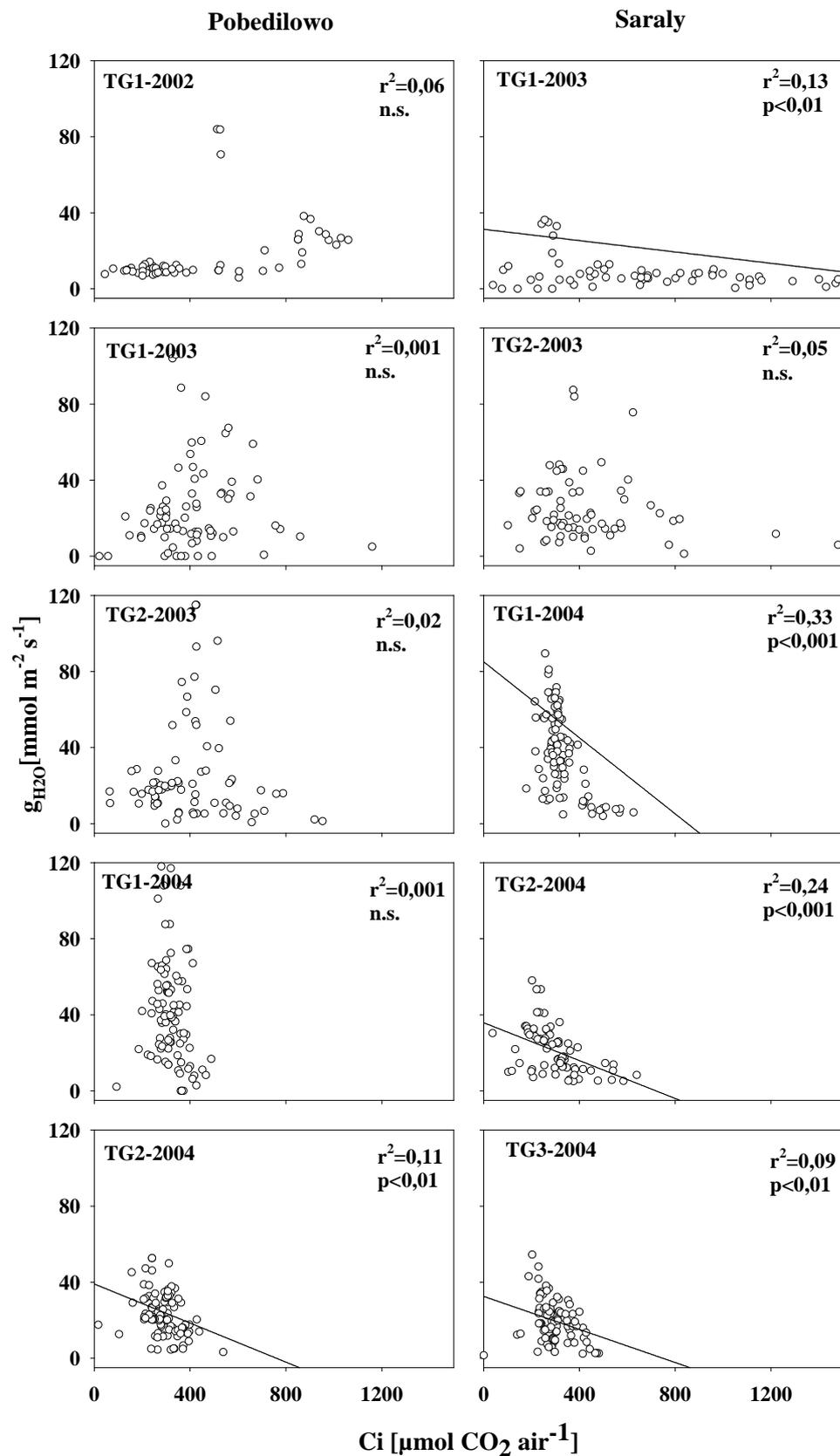
Saraly 2004



**Abbildung 31 (Seite 75):** Zusammenhänge während der Tagesgänge im Untersuchungsperiode 2003 zwischen CO<sub>2</sub>-Fluss auf der Blattebene (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>) und PFD sowie Temperatur am Blatt als auch zwischen Transpiration und Temperatur am Blatt und stomatärer Leitfähigkeit (g). Dabei wird zwischen den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly unterschieden. Alle dargestellten Graden sind signifikant für p<0,05.

**Abbildung 32 (Seite 76):** Zusammenhänge während der Tagesgänge im Untersuchungsperiode 2004 zwischen CO<sub>2</sub>-Fluss auf der Blattebene (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>) und PFD sowie Temperatur am Blatt als auch zwischen Transpiration und Temperatur am Blatt und stomatärer Leitfähigkeit (g). Dabei wird zwischen den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly unterschieden. Alle dargestellten Graden sind signifikant für p<0,05.

Die Transpiration wurde von Untersuchungsperiode 2002 zu Untersuchungsperiode 2004 signifikant höher (F=24,4; p<0,001). Die Transpiration (Trans) in beiden Untersuchungsperioden zusammen war auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo signifikant höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly (F=13,0; p<0,001). Dieser Unterschied existierte in der Untersuchungsperiode 2003 (F=22,9; p<0,001), in der Untersuchungsperiode 2004 war dagegen keiner zu finden. Zwischen der Transpiration und dem Wasserstand bestanden keine Abhängigkeiten. Das Wasserdruckdefizit am Blatt (Vpdl) war in der Untersuchungsperiode 2002 signifikant am höchsten und in den Folgeperioden 2003 und 2004 nahezu gleich (F=3,5; p<0,05). Zwischen den Untersuchungsflächen bestanden in allen Untersuchungsperioden im Bezug auf das Vpdl keine Unterschiede. Das Vpdl stieg vom flachen zum mittleren und zum tiefen Wasserstand signifikant an (F=3,4; p<0,05). Dieser Gradient entlang des Wasserstands des Vpdl ging auf die Temperatur am Blatt zurück. Die Temperatur am Blatt nahm signifikant von flachen Wasserstand über den mittleren Wasserstand zum tiefen Wasserstand in allen Untersuchungsperioden und beiden Untersuchungsflächen ab (F=4,7; p<0,01). Dieser Einfluss des Wasserstands auf die Temperatur am Blatt ging auf die Untersuchungsperiode 2004 zurück (F=6,6; p<0,01; Tab. 19). Die Temperatur am Blatt war in der Untersuchungsperiode 2002 signifikant am höchsten und nahm von Untersuchungsperiode 2003 bis 2004 weiter ab (F=3,8; p<0,05). Zwischen der Untersuchungsflächen Saraly und Pobedilowo bestanden bezüglich der Temperatur am Blatt in der Untersuchungsperiode 2003 (F=13, 7; p<0,001) und in der Untersuchungsperiode 2004 (F=12,7; p<0,001) hoch signifikante Unterschiede. Dabei war die Temperatur am Blatt in der Untersuchungsperiode 2003 auf der Untersuchungsfläche Saraly signifikant niedriger als auf der Fläche Pobedilowo und in der Untersuchungsperiode 2004 auf der Untersuchungsfläche Saraly signifikant höher als auf der Fläche Pobedilowo (vgl. Tab. 19).

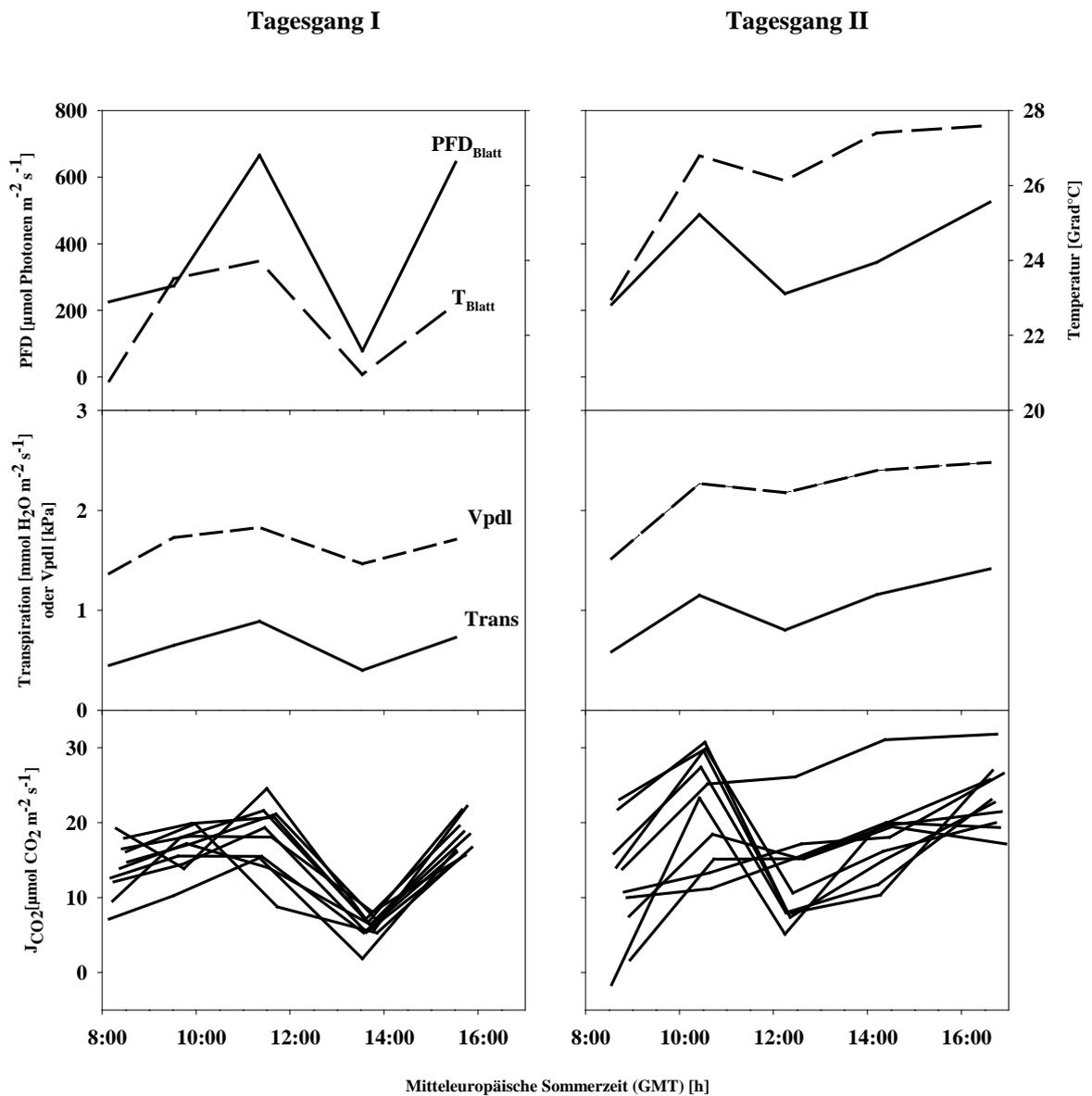


**Abbildung 33:** Zusammenhänge innerhalb der Tagesgänge (TG) zwischen stomatärer Leitfähigkeit ( $g$ ) und interzellulärer  $\text{CO}_2$ -Konzentration ( $C_i$ ) in den Untersuchungsperioden 2002-2004. Dabei wird zwischen den Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly unterschieden. Alle dargestellten Graden sind signifikant für  $p < 0,05$ .

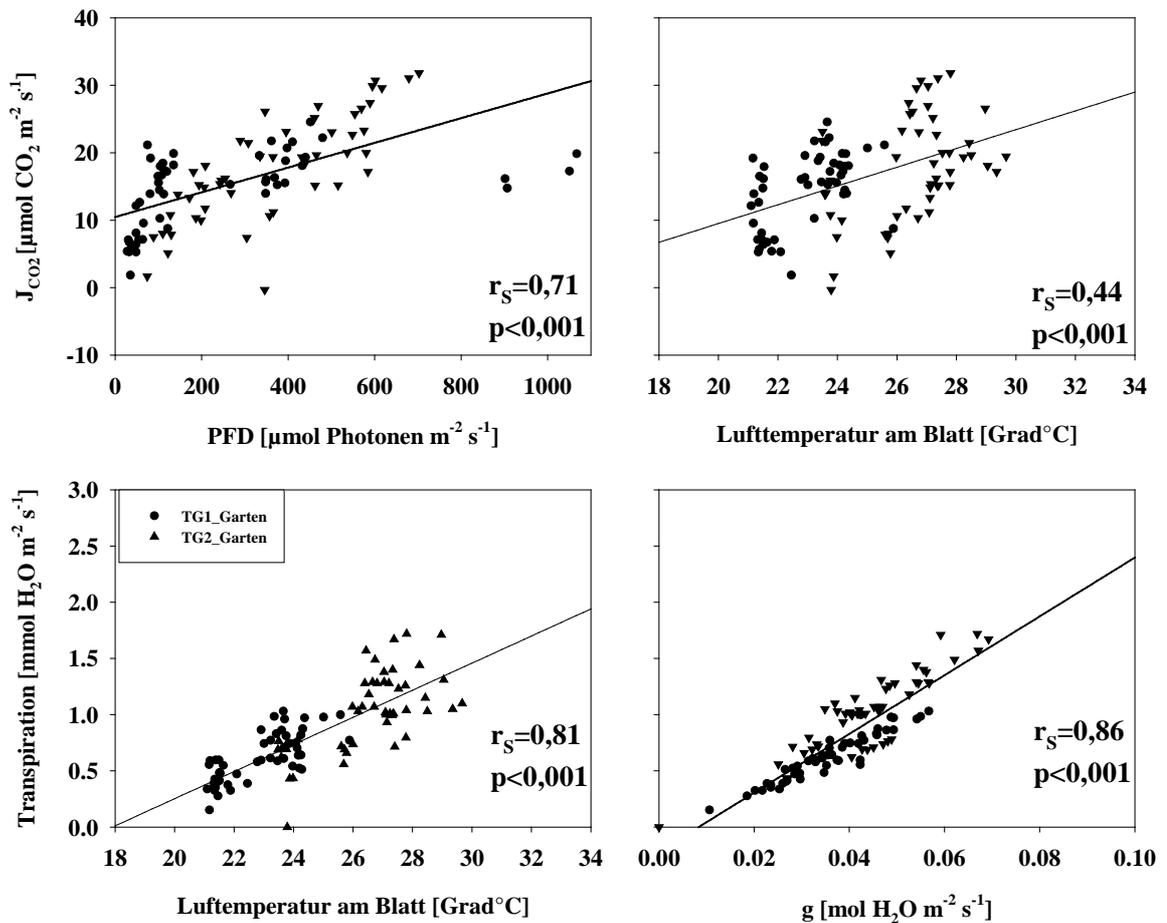
### Beziehungen zwischen einzelnen Gaswechselfparametern

Die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate ( $J_{\text{CO}_2}$ ) korrelierte in beiden Untersuchungsperioden und beiden Untersuchungsflächen positiv mit dem PFD. Die Zusammenhänge waren aber bei beiden Untersuchungsflächen in der Untersuchungsperiode 2004 stärker als im Untersuchungsperiode 2003 (Abb. 31 und Abb. 32). In der Untersuchungsperiode 2003 bestand auf der Fläche Pobedilowo zwischen der  $\text{CO}_2$ -Austauschrate und der Temperatur am Blatt eine leichte und in der Untersuchungsperiode 2004 eine starke positive Korrelation. Für diese Parametern konnte auf der Untersuchungsfläche Saraly in beiden Jahren keine Beziehung nachgewiesen werden. Die Transpiration war in beiden Untersuchungsperioden positiv abhängig von der Temperatur am Blatt als auch von der stomatären Leitfähigkeit (g).

Auf der Untersuchungsfläche Saraly bestanden mit Ausnahme von Tagesgang 2 in der Untersuchungsperiode 2003 signifikante enge Zusammenhänge zwischen der stomatären Leitfähigkeit (g) und der interzellulären  $\text{CO}_2$ -Konzentration (Abb. 33). Dagegen existierten auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo bis auf den zweiten Tagesgang in der Untersuchungsperiode 2004 keine signifikanten Beziehungen zwischen stomatärer Leitfähigkeit (g) und der interzellulären  $\text{CO}_2$ -Konzentration (Abb. 33).



**Abbildung 34:** Tagesgang I (12. Mai 2004) und Tagesgang II (19. Mai 2004) an jeweils 10 *Typha*-Stängeln der Gaswechselfmessungen im Botanischen Garten der Universität Ulm. Außenfaktoren (obere Graphen): Mittelwerte der Temperatur am Blatt (lang gestrichelt,  $T_{\text{Blatt}}$ ) und PFD am Blatt (durchgezogen); Gaswechselprozesse (mittlere und untere Graphen): Mittelwerte des Wasserdruckdefizits am Blatt (lang gestrichelt,  $V_{\text{pdl}}$ ) und Transpiration (durchgezogen,  $\text{Trans}$ ), sowie der Kurvenverlauf aller 10 *Typha*-Stängel für den  $\text{CO}_2$ -Fluss auf der Blattebene (durchgezogen, unterer Graph).



**Abbildung 35:** Zusammenhänge während der Tagesgänge I und II (TG1 und TG2) im Botanischen Garten der Universität Ulm zwischen  $\text{CO}_2$ -Fluss auf der Blattebene ( $J_{\text{CO}_2}$ ) und PFD, sowie Temperatur am Blatt als auch zwischen Transpiration und Temperatur am Blatt und stomatärer Leitfähigkeit ( $g$ ). Alle dargestellten Korrelationsgraden sind signifikant für  $p < 0,05$ .

### 3.5.3. Ergebnisse der Gaswechseluntersuchungen im Botanischen Garten der Universität Ulm

Der erste Tagesgang (12 Mai 2004) war im Vergleich zu den Tagesgängen am Kuibyschew-Reservoir (Abschnitt 3.5.1) ein kühler Tag, an dem die Temperatur am Blatt nicht höher als  $24^\circ\text{C}$  stieg (Abb. 34). Zudem war es während der Mittagszeit leicht bewölkt und die Temperatur am Blatt fiel leicht ab. Die Photonenflussdichte am Blatt stieg im Maximum nicht über  $670 \mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  und sank in der Mittagszeit durch Bewölkung kurzweilig auf  $80 \mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Vpdl und Transpiration reagierten wie schon bei den Messungen am Kuibyschew-Reservoir (Abschnitt 3.5.1) bei allen *Typha*-Stängeln auf die mikroklimatischen Änderungen des Tages. Beide stiegen in den Morgenstunden an (zum Beispiel im Tagesgang I: Vpdl Anstieg von 1,3 auf 2,0 kPa,

Transpiration Anstieg von 0,5 auf 0,8 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) und sanken in den Mittagsstunden parallel zur PFD und der Temperatur (Vpdl auf 1,4 kPa und Transpiration auf 0,3 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme war bei allen *Typha*-Stängeln hoch und erreichte im Maximum 24,5 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Im Gegensatz zu den Messungen am Kuibyschew-Reservoir korrelierte die CO<sub>2</sub>-Aufnahme eng mit den mikroklimatischen Verhältnissen, hauptsächlich mit den Strahlungsverhältnissen. Bei allen *Typha*-Stängeln fiel die CO<sub>2</sub>-Aufnahme in den Mittagsstunden parallel zur PFD ein und stieg am Nachmittag erneut an. Während des zweiten Tagesganges (19. Mai 2004) waren die mikroklimatischen Verhältnisse wärmer, aber die Strahlungsverhältnisse nicht so intensiv wie bei dem ersten Tagesgang (Abb. 34). Die Temperatur am Blatt stieg am Morgen stetig an und fiel nur während des Mittags ab, um dann am Nachmittag die maximale Temperatur von 27,5 °C zu erreichen. Die PFD am Blatt war geringer als bei dem ersten Tagesgang und erreichte am Abend sein Maximum mit 530 μmol Photonen m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Auf Grund der höheren Blatttemperatur waren auch das Vpdl (Maximum 2,5 kPa) und die Transpiration (Maximum 1,4 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) im Mittel höher als bei dem ersten Tagesgang. Beide stiegen im Tagesverlauf stetig an und gingen nur zur Mittagszeit parallel zur PFD sehr leicht zurück. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme war höher als bei dem ersten Tagesgang und erreichte bei einem *Typha*-Stängel im Maximum 31,8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Die *Typha*-Stängel im Einzelnen verhielten sich in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Aufnahme unterschiedlich gegenüber den mikroklimatischen Veränderungen. 60 Prozent der *Typha*-Stängel reagierten parallel zur PFD und fielen in der Mittagszeit ab um dann am Nachmittag die Maximalwerte zu erreichen. Die verbleibenden 40 Prozent fielen in der Mittagszeit nicht, sondern stiegen im Tagesverlauf bis zum Abend stetig an. Weder bei dem Tagesgang I noch bei dem Tagesgang II kam es während des Tages zu keiner Zeit zu CO<sub>2</sub>-Abgaben.

Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate ( $J_{CO_2}$ ) korrelierte eng hoch signifikant positiv während beider Tagesgänge mit der Photonenflussdichte (Abb. 35). Weniger eng aber trotzdem hoch signifikant korrelierte die CO<sub>2</sub>-Austauschrate ebenfalls mit der Temperatur am Blatt positiv. Die Transpiration korrelierte während beider Tagesgänge hoch signifikant eng positiv mit der Temperatur am Blatt und mit der stomatären Leitfähigkeit (g), (Abb. 35).

**Tabelle 20:** Flächenbezogene Jahresbilanz für die Untersuchungsperiode 2003 des Kohlestoffs aus errechneter Kohlenstoff-Aufnahme des Gaswechsels (Rechnung siehe Abschnitt Material und Methoden 2.10.) und gemessenen Kohlenstoff in der oberirdischen Trockenbiomasse von *Typha angustifolia* pro Quadratmeter. Die Vegetationsperiode wurde mit 107 Tagen angenommen. Dabei wird in die Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly und zwischen den Wasserständen flach, mittel und tief unterschieden.

| <b>Kohlenstoffjahresbilanz 2003</b>  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| <b>Bilanztabelle A: Rechenweg der Kohlenstoff-Aufnahme pro Quadratmeter aus dem Gaswechsel</b>                 |  |  |   |
| <b>Wasserstand</b>   | $\bar{x}$<br><b>C-Aufnahme</b><br><b>[g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>]</b> | <b>LAI</b>                               | $\bar{x} \sum$<br><b>Kohlenstoff-Aufnahme [g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b> |
| <b>Pobedilowo</b>  |  |  |   |
| Flach  | -0,004   | 1,9                                      | <b>-0,60</b>  |
| Mittel   | -0,154   | 1,9                                      | <b>-21,0</b>  |
| Tief   | -0,943   | 1,4                                      | <b>-94,6</b>  |
| <b>Saraly</b>  |  |  |   |
| Flach  | -0,941   | 2,4                                      | <b>-161,8</b>   |
| Mittel   | -0,930   | 2,1                                      | <b>-139,9</b>   |
| Tief   | -1,207   | 1,4                                      | <b>-121,1</b>   |
| <b>Bilanztabelle B: Rechenweg Kohlenstoff in der gemessenen oberirdischen Trockenbiomasse pro Quadratmeter</b> |  |  |   |
| <b>Wasserstand</b>   | $\bar{x}$ <b>Biomasse</b><br><b>[g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b>      | $\bar{x}$<br><b>C-Anteil [%]</b>         | $\bar{x}$<br><b>Kohlenstoff-Biomasse [g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b>      |
| <b>Pobedilowo</b>  |  |  |   |
| Flach  | 608,0  | 43,7                                     | <b>265,4</b>  |
| Mittel   | 788,6  | 43,7                                     | <b>344,4</b>  |
| Tief   | 305,3  | 41,9                                     | <b>128,1</b>  |
| <b>Saraly</b>  |  |  |   |
| Flach  | 528,8  | 43,2                                     | <b>228,6</b>  |
| Mittel   | 745,1  | 43,9                                     | <b>327,4</b>  |
| Tief   | 401,2  | 42,3                                     | <b>169,5</b>  |
| <b>Bilanztabelle C: Bilanz von Kohlenstoff-Aufnahme und Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub></b>           |  |  |   |
|  | <b>Wasserstand</b>   |  |   |
|  | <b>Flach</b>   | <b>Mittel</b>                            | <b>Tief</b>   |
|  | <b>[g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b>                                   | <b>[g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b> | <b>[g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b>  |
| <b>Pobedilowo</b>  | -266,0   | -365,3                                   | -222,7  |
| <b>Saraly</b>  | -390,4   | -467,3                                   | -290,6  |

**Tabelle 21:** Flächenbezogene Jahresbilanz für die Untersuchungsperiode 2004 des Kohlestoffs aus errechneter Kohlenstoff-Aufnahme des Gaswechsels (Rechnung siehe Abschnitt Material und Methoden 2.10.) und gemessenen Kohlenstoff in der oberirdischen Trockenbiomasse von *Typha angustifolia* pro Quadratmeter. Die Vegetationsperiode wurde mit 107 Tagen angenommen. Dabei wird in die Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly und zwischen den Wasserständen flach, mittel und tief unterschieden.

| <b>Kohlenstoffjahresbilanz 2004</b>   |  |                                      |  |
|---|--|--------------------------------------|--|
| <b>Bilanztablette A: Rechenweg der Kohlenstoff-Aufnahme pro Quadratmeter aus dem Gaswechsel</b>                 |  |                                      |  |
| <b>Wasser-stand</b>   | $\bar{x}$<br><b>C-Aufnahme</b><br>[g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ] | <b>LAI</b>                           | $\bar{x} \sum$<br><b>Kohlenstoff-Aufnahme</b> [g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ] |
| <b>Pobedilowo</b>   |  |                                      |  |
| Flach   | 1,35   | 2,6                                  | <b>252,2</b>   |
| Mittel  | 1,64   | 2,9                                  | <b>341,6</b>   |
| Tief  | 1,05   | 3,9                                  | <b>292,2</b>   |
| <b>Saraly</b>   |  |                                      |  |
| Flach   | 1,51   | 2,1                                  | <b>227,6</b>   |
| Mittel  | 1,24   | 2,0                                  | <b>177,6</b>   |
| Tief  | 1,52   | 1,9                                  | <b>206,8</b>   |
| <b>Bilanztablette B: Rechenweg Kohlenstoff in der gemessenen oberirdischen Trockenbiomasse pro Quadratmeter</b> |  |                                      |  |
| <b>Wasser-stand</b>   | $\bar{x}$ <b>Biomasse</b><br>[g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]      | $\bar{x}$<br><b>C-Anteil [%]</b>     | $\bar{x}$<br><b>Kohlenstoff-Biomasse</b> [g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]      |
| <b>Pobedilowo</b>   |  |                                      |  |
| Flach   | 773,7  | 45,7                                 | <b>353,2</b>   |
| Mittel  | 896,3  | 45,0                                 | <b>403,0</b>   |
| Tief  | 888,0  | 46,1                                 | <b>409,2</b>   |
| <b>Saraly</b>   |  |                                      |  |
| Flach   | 978,7  | 45,1                                 | <b>441,6</b>   |
| Mittel  | 1192,7   | 46,6                                 | <b>555,2</b>   |
| Tief  | 878,0  | 43,8                                 | <b>384,7</b>   |
| <b>Bilanztablette C: Bilanz von Kohlenstoff-Aufnahme und Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub></b>           |  |                                      |  |
|   | <b>Wasserstand</b>   |                                      |  |
|   | <b>Flach</b>   | <b>Mittel</b>                        | <b>Tief</b>  |
|   | [g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]                                   | [g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ] | [g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]   |
| <b>Pobedilowo</b>   | -101,0   | -61,47                               | -117,0   |
| <b>Saraly</b>   | -213,9   | -377,5                               | -213,9   |

**Tabelle 22:** Jahresbilanz im Bezug auf die Einzelstängel für Kohlenstoff aus errechneter Kohlenstoff-Aufnahme des Gaswechsels (Rechnung siehe Abschnitt Material und Methoden 2.10.) und gemessenen Kohlenstoff in der oberirdischen Trockenbiomasse von *Typha angustifolia*-Messstängeln der Gaswechsellmessungen für die Untersuchungsfläche Pobedilowo. Die Vegetationsperiode wurde mit 107 Tagen angenommen. Es wird in die Wasserstände flach, mittel und tief unterschieden.

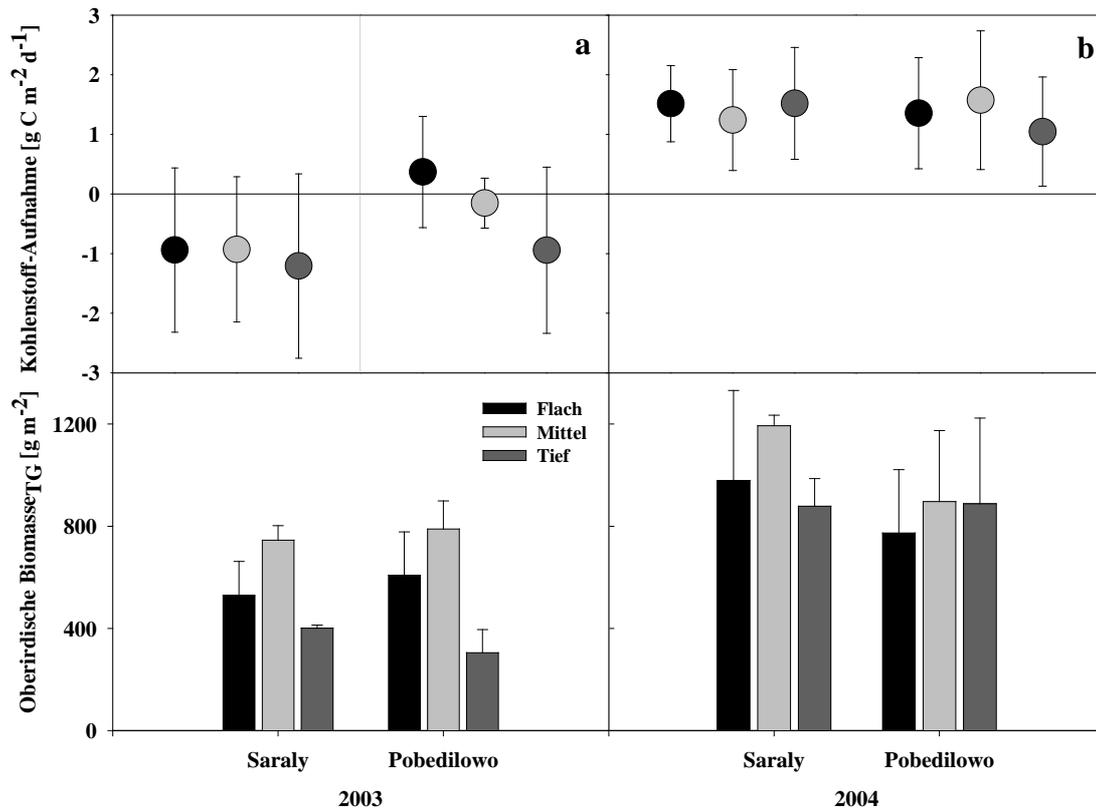
| <b>Kohlenstoffbilanz der Messstängel der Tagesgänge 2004: Fläche Pobedilowo</b>                      |                      |   |                        |   |   |  |
|--|----------------------|---|------------------------|---|---|--|
| <b>Bilanztabelle A: Rechenweg Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel</b>                            |                      |   |                        |   |   |  |
| Wasserstand  | Messstängel          | $\bar{x}$ Blattfläche* [mm <sup>2</sup> ]   | Blattanzahl            | Blattfläche pro Stängel [m <sup>2</sup> ] | $\bar{x}$ C-Aufnahme [g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ] | $\Sigma$ C-Aufnahme [g a <sup>-1</sup> ] |
| Flach  | 1                    | 15028                                       | 7                      | 0,105                                     | 2,00  | <b>15,1</b>                              |
|  | 2                    | 8317  | 6                      | 0,050                                     | 0,70  | <b>2,51</b>                              |
| Mittel   | 1                    | 12243                                       | 7                      | 0,086                                     | 2,44  | <b>15,0</b>                              |
|  | 2                    | 9474  | 5                      | 0,047                                     | 0,84  | <b>2,87</b>                              |
| Tief   | 1                    | 14802                                       | 6                      | 0,088                                     | 0,81  | <b>5,15</b>                              |
|  | 2                    | 11740                                       | 6                      | 0,070                                     | 1,28  | <b>6,47</b>                              |
| <b>Bilanztabelle B: Rechenweg Kohlenstoff in der gemessenen oberirdischen Trockenbiomasse</b>        |                      |   |                        |   |   |  |
| Wasserstand  | Messstängel          | Biomasse <sub>TG</sub> [g a <sup>-1</sup> ] | $\bar{x}$ C-Anteil [%] | C-Biomasse [g a <sup>-1</sup> ]           |   |  |
| Flach  | 1                    | 44,08                                       | 43,15                  | <b>19,02</b>                              |   |  |
|  | 2                    | 14,00                                       | 43,15                  | <b>6,04</b>                               |   |  |
| Mittel   | 1                    | 29,27                                       | 43,15                  | <b>12,63</b>                              |   |  |
|  | 2                    | 20,88                                       | 43,15                  | <b>9,01</b>                               |   |  |
| Tief   | 1                    | 50,29                                       | 43,15                  | <b>21,70</b>                              |   |  |
|  | 2                    | 24,67                                       | 43,15                  | <b>10,64</b>                              |   |  |
| <b>Bilanztabelle C: Bilanz von Kohlenstoff-Aufnahme und Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub></b> |                      |   |                        |   |   |  |
|  | Wasserstand          |   |                        |   |   |  |
|  |                      | Flach                                       |                        | Mittel                                    |   | Tief                                     |
|  | [g a <sup>-1</sup> ] | Anteil der C-Aufnahme [%]                   | [g a <sup>-1</sup> ]   | Anteil der C-Aufnahme [%]                 | [g a <sup>-1</sup> ]                                      | Anteil der C-Aufnahme [%]                |
| <b>Messstängel 1</b>   | -3,91                | 79,4  | +2,38                  | 118,8                                     | -16,55  | 23,7                                     |
| <b>Messstängel 2</b>   | -3,53                | 41,6  | -6,14                  | 31,8                                      | -4,17   | 60,8                                     |
| $\bar{x}$  | <b>-3,72</b>         | <b>60,5</b>                                 | <b>-1,88</b>           | <b>75,3</b>                               | <b>-10,36</b>   | <b>42,3</b>                              |

\* gescannte Blattfläche von 2 Blättern

**Tabelle 23:** Jahresbilanz im Bezug auf die Einzelstängel für Kohlenstoff aus errechneter Kohlenstoff-Aufnahme des Gaswechsels (Rechnung siehe Abschnitt Material und Methoden 2.10.) und gemessenen Kohlenstoff in der oberirdischen Trockenbiomasse von *Typha angustifolia*-Messstängeln der Gaswechselfmessungen für die Untersuchungsfläche Saraly. Die Vegetationsperiode wurde mit 107 Tagen angenommen. Es wird in die Wasserstände flach, mittel und tief unterschieden.

| <b>Kohlenstoffbilanz der Messstängel der Tagesgänge 2004: Fläche Saraly</b>                          |                      |   |                        |   |   |  |
|--|----------------------|---|------------------------|---|---|--|
| <b>Bilanztabelle A: Rechenweg Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel</b>                            |                      |   |                        |   |   |  |
| Wasserstand  | Messstängel          | $\bar{x}$ Blattfläche* [mm <sup>2</sup> ]   | Blattanzahl            | Blattfläche pro Stängel [m <sup>2</sup> ] | $\bar{x}$ C-Aufnahme [g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ] | $\Sigma$ C-Aufnahme [g a <sup>-1</sup> ] |
| Flach  | 1                    | 6514  | 6                      | 0,039                                     | 1,48  | <b>4,14</b>                              |
|  | 2                    | 10813                                       | 7                      | 0,078                                     | 1,55  | <b>8,68</b>                              |
| Mittel   | 1                    | 9989  | 8                      | 0,075                                     | 1,22  | <b>6,52</b>                              |
|  | 2                    | 7744  | 7                      | 0,051                                     | 1,26  | <b>4,55</b>                              |
| Tief   | 1                    | 7076  | 7                      | 0,046                                     | 1,00  | <b>3,31</b>                              |
|  | 2                    | 9535  | 6                      | 0,057                                     | 2,03  | <b>8,34</b>                              |
| <b>Bilanztabelle B: Rechenweg Kohlenstoff in der gemessenen oberirdischen Trockenbiomasse</b>        |                      |   |                        |   |   |  |
| Wasserstand  | Messstängel          | Biomasse <sub>TG</sub> [g a <sup>-1</sup> ] | $\bar{x}$ C-Anteil [%] | C-Biomasse [g a <sup>-1</sup> ]           |   |  |
| Flach  | 1                    | 25,00                                       | 45,16                  | <b>11,29</b>                              |   |  |
|  | 2                    | 36,00                                       | 45,16                  | <b>16,26</b>                              |   |  |
| Mittel   | 1                    | 32,00                                       | 45,16                  | <b>14,45</b>                              |   |  |
|  | 2                    | 30,00                                       | 45,16                  | <b>13,55</b>                              |   |  |
| Tief   | 1                    | 33,00                                       | 45,16                  | <b>14,90</b>                              |   |  |
|  | 2                    | 25,00                                       | 45,16                  | <b>11,29</b>                              |   |  |
| <b>Bilanztabelle C: Bilanz von Kohlenstoff-Aufnahme und Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub></b> |                      |   |                        |   |   |  |
|  | Wasserstand          |   |                        |   |   |  |
|  |                      | Flach                                       |                        | Mittel                                    |   | Tief                                     |
|  | [g a <sup>-1</sup> ] | Anteil der C-Aufnahme [%]                   | [g a <sup>-1</sup> ]   | Anteil der C-Aufnahme [%]                 | [g a <sup>-1</sup> ]                                      | Anteil der C-Aufnahme [%]                |
| <b>Messstängel 1</b>   | -7,15                | 36,7  | -7,93                  | 67,4                                      | -11,60  | 22,2                                     |
| <b>Messstängel 2</b>   | -7,58                | 53,4  | -9,00                  | 33,6                                      | -2,95   | 73,9                                     |
| $\bar{x}$  | <b>-7,36</b>         | <b>45,1</b>                                 | <b>-8,47</b>           | <b>50,5</b>                               | <b>-7,28</b>  | <b>48,1</b>                              |

\* gescannte Blattfläche von 2 Blättern



**Abbildung 36:** Errechnete tägliche mittlere Kohlenstoff-Aufnahme (Punkte mit Standardabweichung, obere Graphen) und mittlere oberirdische Trockenbiomasse (Balken mit Standardabweichung, untere Graphen) von *Typha angustifolia* auf beiden Untersuchungsflächen (Saraly; Pobedilowo) und Transektpunkten (fach; mittel; tief) in den Untersuchungsperioden 2003 und 2004. Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an.

### 3.5.4. Ergebnisse der Kohlenstoffaufnahme und Bilanzierung

#### 3.5.4.1. Ergebnisse der Kohlenstoff-Aufnahmen aus den Tagesgängen der Gaswechselfmessungen

Die Ergebnisse der aus den Tagesgängen der Gaswechselfmessungen errechneten Kohlenstoff-Aufnahme pro Tag (Rechnung aus Gleichung (1) und (2) siehe Abschnitt Material und Methoden 2.10) sind in Abbildung 36 dargestellt. Wie durch die Resultate der Gaswechselfmessungen zu erwarten, kam es in der Untersuchungsperiode 2003 bei den meisten Tagesgängen effektiv zu keinen Kohlenstoff-Aufnahmen sondern in der Tagesbilanz zur Kohlenstoff-Abgaben. Dagegen hatten in der Untersuchungsperiode 2004 alle Tagesgänge eine positive Tagesbilanz (vgl. Abb. 36). Daher unterschieden sich die Kohlenstoff-Aufnahmen pro Tag zwischen den Untersuchungsperioden hoch signifikant

---

( $F=55,69$ ;  $p<0,001$ ). Die Kohlenstoffaufnahmen pro Tag waren in der Untersuchungsperiode 2004 höher als in der Untersuchungsperiode 2003. Dabei bestanden zwischen den Flächen in beiden Untersuchungsperioden keine nachweisbaren Unterschiede. Der Wasserstand (flach, mittel, tief) hatte ebenfalls keinen nachweisbaren Effekt auf die Kohlestoff-Aufnahmen der *Typha*-Stängel in der Tagesbilanz.

### **3.5.4.2 Ergebnisse der Jahresbilanzen aus Kohlenstoff-Aufnahme und Trockenbiomasse**

#### Flächen bezogene Jahresbilanzen für Kohlenstoff

Die Resultate der Flächen bezogenen Jahresbilanzen für Kohlenstoff werden in der Tabelle 20 für die Untersuchungsperiode 2003 und in der Tabelle 21 für die Untersuchungsperiode 2004 dargestellt. Diese Flächen bezogenen Jahresbilanzen für Kohlenstoff wurden errechnet aus der Kohlenstoff-Aufnahme des Gaswechsels pro Blattfläche gegenüber den Kohlenstoff der Trockenbiomasse bezogen auf den Quadratmeter (vgl. Rechnung aus Gleichung (3) im Abschnitt Material und Methoden 2.10). Die Kohlenstoff-Aufnahmen aus dem Gaswechsel konnten nicht den Kohlenstoff in der Trockenbiomasse pro Bodenfläche ( $m^2$ ) unabhängig von den Untersuchungsperioden, Untersuchungsflächen und dem Wasserstand decken. In der Untersuchungsperiode 2003 war sogar die Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel auf beiden Untersuchungsflächen negativ (Tab. 20, Bilanztable A). Daher wurde die Kohlenstoffbilanz in der Untersuchungsperiode 2003 auch signifikant negativer als in der Untersuchungsperiode 2004 ( $F=11,96$ ;  $p<0,01$ ). In der Untersuchungsperiode 2004 wurden auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo zwischen 70-85 Prozent des Kohlenstoff in der Trockenbiomasse pro Bodenfläche ( $m^2$ ) durch die Kohlenstoff-Aufnahme des Gaswechsels gedeckt und auf der Untersuchungsfläche Saraly 30-50 Prozent. Die Deckung war auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo signifikant höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly ( $F=8,09$ ;  $p<0,05$ ). Im Vergleich zwischen den Untersuchungsflächen waren die Bilanzen unabhängig von der Untersuchungsperiode bei allen drei Wasserständen auf der Untersuchungsfläche Saraly negativer als auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo. Im Vergleich zwischen den Wasserständen fiel die Bilanz unabhängig von der Untersuchungsperiode und der Untersuchungsfläche im Wasserstand „mittel“ am

negativsten aus. Im tiefen Wasserstand konnte dagegen die Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel den Kohlenstoff in der Trockenbiomasse am besten decken.

#### *Typha*-Stängel bezogene Jahresbilanzen für Kohlenstoff in der Untersuchungsperiode 2004

Die Resultate der in Untersuchungsperiode 2004 errechneten Stängel bezogenen Jahresbilanzen für Kohlenstoff werden in der Tabellen 22 für die Untersuchungsfläche Pobedilowo und in der Tabelle 23 für die Untersuchungsfläche Saraly abgebildet. Die Bilanzen wurden aus der Kohlenstoff-Aufnahme pro Blattfläche der *Typha*-Einzelstängel bezogen auf den Kohlenstoff in der Trockenbiomasse des *Typha*-Einzelstängels (Biomasse<sub>TG</sub>) errechnen (vgl. Abschnitt Material und Methoden 2.10). Die Ergebnisse zeigten, dass die Kohlenstoff-Aufnahme der *Typha*-Stängel aus dem Gaswechsel den oberirdischen Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub> nicht deckten (Tab. 22 und Tab. 23). Auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo konnte die Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel zwischen 42 und 75 Prozent des Kohlenstoffs aus der Biomasse<sub>TG</sub> ausmachen (Tab. 22). Allerdings bestanden große Differenzen zwischen den *Typha*-Stängeln innerhalb des Transekts hinsichtlich Kohlenstoff-Aufnahme und auch oberirdischer Trockenbiomasse. Dagegen war auf der Untersuchungsfläche Saraly die Wahl der *Typha*-Stängel ausgewogener. Hier konnte die Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel zwischen 45 und 50 Prozent des Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub> decken (Tab. 23). Auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo war die Kohlenstoff-Aufnahme aus dem Gaswechsel gegenüber dem Kohlenstoff in der Biomasse<sub>TG</sub> marginal signifikant höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly ( $F=4,02$ ;  $p=0,08$ ). Zwischen den Wasserständen (flach, mittel, tief) bestanden auf beiden Untersuchungsflächen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Deckung des Kohlenstoffs in der Trockenbiomasse durch die Kohlenstoff-Aufnahme.

---

## 4. Diskussion

### 4.1. Diskussion der Ergebnisse der Biometrischen Daten, Biomasse und Blattflächenindex

Stress sollte bei Pflanzen nur im Entstehen von Umweltveränderungen außerhalb des normalen Bereichs betrachtet werden (OTTE 2001). Umstände wie Überflutung, anaerobe Böden oder Salinität sind nicht stressig für Feuchtgebietspflanzen. Zwar sind von vielen Feuchtgebieten und Reservoirs die negativen Einflüsse von Wasserspiegelschwankungen auf die Feuchtgebiete bekannt (MONAKOV 1993, FERNÁNDEZ-ALÁZ et al. 1999, GAFNEY & GASITH 2000, GASITH et al. 2000, KELLOGG et al. 2003), doch sind sie im Vergleich zum Beispiel mit Trockenheit nicht als Stress zu bewerten (sensu LI et al. 2004). In diesem Konsens sind auch die Ergebnisse dieser Arbeit zu sehen. Wasserspiegelschwankungen hatten einen signifikanten negativen Einfluss auf die *Typha*-Bestände, da einerseits Teile der Bestände partiell sehr stark überflutet wurden und andere Teile der Vegetation periodisch unter Trockenheit litten. Die Wasserstandsmessungen auf den Flächen zeigten, dass im tiefen Bereich die Pflanzen besonders im Frühjahr bis zu 160 cm überflutet waren. Die flachen Bereiche waren dagegen besonders in der Untersuchungsperiode 2002 schon Anfang August nicht mehr mit Wasser überschwemmt und fielen teilweise trocken. Diese Umstände hatten Auswirkungen auf Dichte und Biomasseproduktion der Bestände. So nahmen die Dichte lebender Stängel und die Fruchtstände signifikant mit zunehmender Wassertiefe hin ab. Während die Dichte lebender Stängel von Untersuchungsperiode zu Untersuchungsperiode unabhängig von der Wassertiefe signifikant zunahm, gab es bei den Fruchtständen keine Unterschiede zwischen den Untersuchungsperioden. Zusammengefasst hatten die sich annuell verändernden Wasserspiegelschwankungen einen positiven Effekt auf die Dichte der Stängel, während innerhalb der Bestände mit zunehmender Tiefe die Stängel abnahmen und weniger Fruchtstände auf den Quadratmeter bezogen ausbildeten. Ähnliche Resultate konnten Studien aus Nordamerika erkennen lassen. GRACE & WETZEL (1998) konnten zeigen, dass lang dauerhaften Überschwemmungen einen positiven Effekt auf die Dichte von *Typha angustifolia* hatten. Bei ihren Untersuchungen über 15 Jahren nahm die Dichte von *Typha angustifolia* Stängeln im tiefen Bereich (60-90 cm) ohne Wasserspiegelschwankungen um 8 Prozent zu und im flachen Bereich (0-30 cm) dagegen

---

um 6 Prozent ab. In einer anderen Studie von GRACE (1989) konnte gezeigt werden, dass bei der ebenfalls als Tiefwasserart bezeichneten *Typha domingensis* mit zunehmender Wassertiefe die Stängeldichte und die prozentuale Blütenanzahl abnahm. WATERS & SHAY (1992) konnten dagegen bei einer Studie in Manitoba (Kanada) beobachten, dass *Typha glauca* Stängel im flachen (25 cm) die höchste Dichte (41 Stängel m<sup>-2</sup>) erreichten, dann signifikant abnahmen (85 cm Wassertiefe, 12 Stängel m<sup>-2</sup>) und bei 100 cm Wassertiefe 38 Stängel m<sup>-2</sup> ausbildeten. Ähnliche Ergebnisse gaben SORRELL & TANNER 2000 für die australische *Cyperaceae Eleocharis sphacelata* an. Die Dichte der Pflanzen fiel vom flachen (82 Pflanzen, 0,75-0,90 m) zum mittleren Transektpunkt (49 Pflanzen, 1,4 m) und stieg wieder im Tiefen Transektpunkt an (62 Pflanzen, 2,15-2,65 m). Die *Typha angustifolia*-Bestände am Kuibyschew-Reservoir repräsentierten ein gutes Mittelmaß im Bezug auf die Dichte im Vergleich zu anderen Standorten. Die Resultate für die Dichte lebender Stängel am Kuibyschew-Reservoir für *Typha angustifolia* (Mittelwert 25,5±7,5, min: 10; max: 44) lagen im Vergleich deutlich über den Angaben von FARNSWORTH & MEYERSON (2003) für Süßwassersümpfe (23,8±1,1). Andere Angaben referierten von 28 Stängeln m<sup>-2</sup> (CURTIS 1957) bis Maximalwerte von 100 Stängeln pro m<sup>2</sup> in Norfolk (Großbritannien, MASON & BRYANT 1975) oder 108 Stängeln pro m<sup>2</sup> in der USA (DYKYJOVA et al. 1971). In Wassertiefen höher als 140 cm und tiefer waren allerdings keine *Typha*-Stängel mehr zu finden. Dies entsprach auch anderen Literaturangaben, die eine Etablierung von *Typha angustifolia* in Tiefen von mehr als 120 cm nicht mehr beobachten konnten (STEENIS et al. 1958). Die Resultate der Stängelhöhen variierten signifikant zwischen den Untersuchungsperioden und demonstrierten die Reaktion der Bestände auf die annualen Wasserspiegelschwankungen. Während die Bestände in Saraly und in Pobedilowo in den Untersuchungsperioden 2002 und 2004 vom Frühjahr an überschwemmt waren und der Wasserstand im Jahresverlauf kontinuierlich abnahm, lagen sie in der Untersuchungsperiode 2003 im Frühjahr trocken und der Wasserstand stieg erst Mitte Juni an (Abb. 16). Somit mussten die Pflanzen in der Untersuchungsperiode 2003 im Frühjahr sich nicht bemühen, über die Wasseroberfläche hinauszuwachsen und erreichten niedrigere Gesamthöhen im Gegensatz zu den Untersuchungsperioden 2002 und 2004. Unerklärlich durch die Wasserspiegelschwankungen war dagegen die kontinuierliche signifikante Abnahme der Blattanzahl pro Stängel von Untersuchungsperiode 2002 (Mittel 8 Blätter) zu Untersuchungsperiode 2004 (Mittel 5,9 Blätter). Gleichzeitig schwankte der LAI aber nur leicht zwischen den

---

Untersuchungsperioden. Der LAI veränderte sich daher nicht, da die Dichte der Stängel sich von Untersuchungsperiode zu Untersuchungsperiode signifikant erhöhte. Die Pflanzen erhöhten also die Dichte der Stängel und reduzierten die Blattanzahl, so dass sich der LAI über die Untersuchungsperiode hinweg kaum veränderte.

Den größten „Stress“ für die *Typha angustifolia*-Pflanzen stellte die Austrocknung des Bodens dar und wirkte sich auf die Akkumulation von oberirdischer Biomasse aus. Hierbei zeigten sich allerdings unterschiedliche Ergebnisse im Bezug auf die Biomasse der einzelnen Stängel und der Biomasse bezogen auf die Bodenfläche (pro Quadratmeter). Die Biomasse der einzelnen Stängel war in allen Untersuchungsperioden im flachen Transektpunkt signifikant am geringsten. Im Bezug auf die Bodenfläche war die Biomasse im tiefen Transektpunkt signifikant am niedrigsten. Jedoch war die Biomasse auf jeden Fall im mittleren Abschnitt der *Typha*-Bestände, die fast dauerhaft während der Untersuchungsperioden bis zu einem Meter hoch überflutet waren, signifikant am höchsten. Dies zeigte, dass sich einerseits zeitweise Austrocknung des Bodens und zu hohe Überflutung negativ auf die Biomasseakkumulation auswirkten. Schon LI et al. (2004) konnten zeigen, dass Sämlinge von *Typha latifolia* bei periodischer Trockenheit die geringste oberirdische Biomasse akkumulierten und bei kontinuierlicher Flutung (5 cm über Bodenoberfläche) die größte oberirdische Biomasse akkumulierten. In einer Feldstudie durchgeführt in Manitoba (Kanada) an zwei Süßwasser Feuchtgebieten stieg die mittlere Höhe und die Biomasse von *Typha glauca* Stängeln signifikant entlang eines Wasserstandsgradienten (25-100 cm) an (WATERS & SHAY 1992, 1990). Bei der südamerikanischen Art *Eleocharis interstincta* (*Cyperaceae*) korrelierte die Biomasse so mit den Wasserspiegelschwankungen, dass bei Hochwasserperioden die höchste oberirdische Biomasse akkumuliert wurde (SANTOS & ESTEVES 2004). Von einer Reduktion der Biomasse bei lang währender Überflutung mit Wasser berichtete dagegen PEZESHKI (2000 und 2001) von verschiedenen Feuchtgebietsarten. Auch GAFNY & GASITH (2000) berichten, dass die Biomasse bei den emergenten Makrophyten des Litorals am Kinneretsee in Israel zweimal so hoch ist bei Niedrigwasser als bei Hochwasser des Sees. Dagegen sprechen allerdings die Ergebnisse von *Typha angustifolia* dieser Arbeit. Denn gerade in der Untersuchungsperiode 2004, in der die gesamten Bestände auf beiden Untersuchungsflächen fast ganzjährig überflutet waren, war die oberirdische Biomasse der *Typha*-Bestände am höchsten. Indessen führten länger anhaltende Trockenperioden, wie in Untersuchungsperiode 2002, zu reduzierter Biomasseakkumulation. Unabhängig

**Tabelle 24:** Ergebnisse für unter - und oberirdische Biomasse (UB, OB, Trockengewicht TG) in verschiedenen Regionen des Areals von *Typha angustifolia*. In Nordamerika gilt *Typha angustifolia* als invasive Art (Neophyt seit 1800). Zeichenerklärungen: SW = Süßwasser; BW = Brackwasser Mittelwert und Standardabweichung beider Untersuchungsflächen (n=18); a = Untersuchungsperiode 2003; b = Untersuchungsperiode 2004

| Staat/Region                       | Oberirdische Biomasse <sub>TG</sub><br>g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> | Unterirdische Biomasse <sub>TG</sub><br>g m <sup>-2</sup> Jahr <sup>-1</sup> | Verhältnis UB/OB | Veg-Tage | Autoren                       |
|------------------------------------|---|--|------------------|----------|-------------------------------|
| <b>Europa</b>                      |   |  |                  |          |                               |
| Donaumoos/<br>Deutschland          | 250 –1373   | -  | -                | o.A.     | HEINZ et al. 2002             |
| Utrecht/<br>Niederlande            | max 240,3   | 188,6  | 0,79             | 195      | BEST 1982                     |
| Kuibyschew-<br>Reservoir/Russland  | max 1250  | -  | -                | 107      | GOLUBEVA 1984                 |
| Norfolk/England                    | max 1445  | -  | -                | o.A.     | MASON &<br>BRYANT 1975        |
| <b>Asien</b>                       |   |  |                  |          |                               |
| Shanxi /VR China                   | 172,6   | 380,6  | 2,21             | o.A.     | ZHANG et al.<br>2000a         |
| <b>Nord-Afrika</b>                 |   |  |                  |          |                               |
| Tingitan/ Marokko                  | 2158±252  | 3495±324   | 1,62             | o.A.     | ENNABILI et al<br>1998        |
| <b>Nord-Amerika</b>                |   |  |                  |          |                               |
| Ontariosee/ New York<br>(USA)      | 595-1070*   | -  | -                | o.A.     | VACCARO 2005                  |
| Connecticut<br>River/USA           | 208-259 SW<br>666-968 BW  | 522-647 SW<br>999-1452 BW  | 2,5 SW<br>1,5 BW | o.A.     | FARNSWORTH &<br>MEYERSON 2003 |
| Texas /USA                         | 2895±218  | 2314±226   | 0,80             | o.A.     | HILL 1988                     |
| <b>Ergebnisse diese<br/>Arbeit</b> | 563±200 a<br>935±252 b  | -  | -                | 107      |                               |

\*Abhängig von der Artdichte

von den Wasserspiegelschwankungen hatten die unterschiedlichen Untersuchungsflächen keinen Einfluss auf die Biomasseakkumulation im Bezug auf die Bodenfläche der *Typha*-Bestände. Im Gegenteil war sogar die Biomasse der einzelnen Stängel auf der nährstoffärmeren Untersuchungsfläche Saraly signifikant größer als auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo. Über den Einfluss von Nährstoffen auf die Produktivität wie Biomasse oder andere Parameter von *Typha angustifolia* ist wenig bekannt. Im Focus der Arbeiten standen bisher mehr der praktische Nutzen der Art im Hinblick auf Wasser- oder Sedimentreinigung (z.B. Pflanzenkläranlagen) (sensu WILD et al. 2001) oder die Erforschung der Toleranz gegenüber Schwermetallen oder andern Pflanzengiften (sensu

KUFEL & KUFEL 1985, SAMECKA-CYMERMAN & KEMPERS 2001, CLARKE & BALDWIN 2002). Fest steht allerdings, dass eine ausreichende Bereitstellung von Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor und Kalium besonders in der ersten 4-8 Frühlingswochen entscheidend für den Akkumulation von Biomasse bei *Typha* darstellt (GARVER et al. 1988). Eine andere Studie konnte zeigen, dass bei *Typha angustifolia* durch Zugabe von Dünger besonders das Wachstum der individuellen Sprosse zunimmt (SYCYEPANSKA & SYCYEPANSKI 1976). Bei einer Zugabe von 10 Prozent eutrophen Matsch im Substrat von *Typha angustifolia* legten die Stängel im Durchschnitt um 0,35 g zu gegenüber Stängeln ohne Dünger. Bei Zugabe eines Stickstoff- und Phosphordüngers ( $65 \text{ g N m}^{-2}$ ,  $72 \text{ g P m}^{-2}$ ) in einem anderen Experiment mit *Typha angustifolia* erhöhte sich signifikant die oberirdische Biomasse der Pflanzen (JORDAN et al. 1990). KOERSELMAN & MEULEMAN 1996 konnten zeigen, dass das N:P Verhältnis des Pflanzengewebes ein entscheidendes Instrument zur Feststellung des limitierenden Nährstoffes bei Feuchtgebietspflanzen ist. Bei einem N:P Verhältnis von  $<14:1$  war der limitierende Nährstoff N und bei einem N:P Verhältnis von  $>16:1$  war der limitierende Faktor Phosphor. Nach einem Mesokosmos Experiment von ANDERSON & MITSCH (2005) war *Typha angustifolia* N limitiert. In den Untersuchungen der Projektgruppe Ivanov bestand in der Schlickauflage im Hinblick auf den limitierenden Nährstoff N kein Unterschied in der Nährstoffverfügbarkeit auf beiden Untersuchungsflächen Saraly und Pobedilowo. Im Feinboden dagegen war der prozentuelle Anteil an Stickstoff besonders in Bodentiefen von 10-20 cm auf der Untersuchungsfläche Saraly höher als auf der Fläche Pobedilowo. Außerdem zeigten auch die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit, dass für das N:P Verhältnis des Pflanzengewebes in beiden Untersuchungsperioden (2003, 2004) und Untersuchungsflächen eine Limitierung von N bestand (vgl. Abb.18). Allerdings war der Gehalt an Pflanzengewebe-Stickstoff signifikant auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo höher als auf der Untersuchungsfläche Saraly. Zusammenfassend konnte die signifikant höhere Biomasse der Pflanzenstängel auf der Untersuchungsfläche Saraly damit erklärt werden, dass unabhängig von den Unterschieden der Nährstoffverfügbarkeit und dem N:P Verhältnis auf beiden Untersuchungsflächen die Anzahl Stängeln im Mittel auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo höher war (Mittelwert Stängel pro  $\text{m}^2$  im Untersuchungsjahr 2004: Pobedilowo 30 und Saraly 26). Daher zeigte die Biomasse bezogen auf die Bodenfläche keine Unterschiede. Die stärkere Akkumulation der

Biomasse der Stängel auf der Untersuchungsfläche Saraly wurde also durch die größere Anzahl von Stängeln im Bezug auf die Bodenfläche ausgeglichen.

Feuchtgebiete gehören zu den produktivsten Ökosystemen der Welt (WESTLAKE 1982). Nach einem Internationale Biologischen Programm zur Feststellung der Produktivität weltweit in den 1970-er Jahren war ein Tschechischer Fischteich mit  $4000 \text{ mg C/m}^2/\text{Tag}$  der produktivste (CHAPMAN & REISS 2003). In Anlehnung an RADOUX (1977) wies *Typha angustifolia* eine maximale oberirdische Biomasse<sub>TG</sub> bei Kontinentalklima von  $250,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  aus. In Nordamerika wurde für *Typha* ssp. an verschiedenen Seen und Teichen eine Biomasse zwischen  $1000\text{-}1700 \text{ g/m}^2$  Trockengewicht gemessen (GUSTAFSON 1976). WATERS & SHAY 1992 konnten bei *Typha glauca* in Manitoba (Kanada) eine maximale Biomasse von  $1790 \text{ g/m}^2$  messen. Andere Ergebnisse aus Israel zeigen noch höhere Resultate von  $2000\text{-}3000 \text{ g/m}^2$  für die Art *Typha angustata* (GAFNY & GASITH 2000). Die Trockenbiomasse am Kuibyschew-Reservoir beziffert sich nach den Resultaten dieser Arbeit zwischen  $563\pm 200 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  in der Untersuchungsperiode 2003 und  $935\pm 252 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  in der Untersuchungsperiode 2004. Zum Vergleich sind in Tabelle 24 einige Trockenbiomasse Angaben aus verschiedenen Literaturstellen für das Areal von *Typha angustifolia* zusammengestellt. Demnach sind die Gebiete in Nordafrika und im Süden Nordamerikas (Texas/USA) mit über  $2000 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  Trockenbiomasse am produktivsten, während an den östlichen Arealgrenzen in China *Typha angustifolia* die geringsten Biomassen aufwies (Tab. 24). Im Verhältnis von Oberirdischer zur Unterirdischer Biomasse<sub>TG</sub> ist die Unterirdischen Biomasse<sub>TG</sub> größer (mindestens zwei mal so groß; vgl. Tab. 24). Nach einem Model zu Vorhersage von oberirdischer und unterirdischer Biomasse für *Typha* in der Einteilung nach Breitengraden, wäre für die Region Kazan am  $55^\circ$  Breitengrad die erwartete oberirdische Biomasse<sub>TG</sub>  $1250 \text{ g m}^{-2}$  und die erwartete unterirdische Biomasse<sub>TG</sub>  $2000 \text{ g m}^{-2}$  (sensu ASAEDA et al 2005). Dies entspräche einem Verhältnis von 1,6. In das Model wurden allerdings *Typha angustifolia* als auch *Typha latifolia* einbezogen und unzureichend viele Literaturstellen mit Angaben, die älter als 30 Jahre alt waren. Dabei ist zu bedenken, dass *Typha angustifolia* konkurrenzfähiger ist als *Typha latifolia* (WEISNER 1993, GRACE & WETZEL 1998) und klimatische Wechsel zu Veränderungen des oberirdischen Wachstums von Pflanzen führten (RUSTAD et al. 2001). Aus diesen Gründen bestanden Unterschiede zwischen der Vorhersage der oberirdischen Biomasse und real erreichten mittlere Biomasse am Kuibyschew-Reservoir. Andererseits zeigten die Resultate für *Typha angustifolia* von GOLUBEVA (1984) die gleichen

Ergebnisse wie durch ASAEDA et al (2005) prognostizierte. Das Model zu Vorhersage von oberirdischer und unterirdischer Biomasse für *Typha* in der Einteilung nach Breitengraden von ASAEDA et al (2005) war ein ideales Mittel, die unterirdische Biomasse am Kuibyschew-Reservoir einzuschätzen.

Während die Biomasse und Dichte der Stängel abnahm und die Pflanzenhöhe zunahm, nahm die Konzentration des Pflanzengewebes von Kohlenstoff entlang der Wassertiefe signifikant ab und die Konzentrationen des Pflanzengewebes von Stickstoff, Phosphor und Kalium signifikant zu. Diese Zusammenhänge konnte man für die Nährstoffvorräte an Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium nicht mehr finden. Die Aufnahme von Stickstoff bei andauernder Überflutung ist typisch bei emergenten Makrophyten. So konnten TANNER et al (1999) an der Art *Schoenoplectus tabernaemontani* in einem Mesokosmos Experiment zeigen, dass bei fluktuierenden Wasserständen die Stickstoffaufnahme zunahm. In einer anderen Studie hingegen war die Phosphoraufnahme bei einer Abnahme des Redoxpotentials, was auf eine Überflutung zurück zu führen war, vermindert (DeLAUNE et al. 1999). Der limitierende Stickstoffgehalt war im Vergleich zu anderen Untersuchungen gering und die Konzentration an Phosphor im Pflanzengewebe dagegen hoch (SAMECKA-CYMERMAN & KEMPERS 2001, FARNSWORTH & MEYERSON 2003, ANDERSON & MITSCH 2005). So war die Stickstoffkonzentration des Pflanzengewebes bei *Typha angustifolia* bei FARNSWORTH & MEYERSON (2003) 12-13 mg g<sup>-1</sup> und bei SAMECKA-CYMERMAN & KEMPERS (2001) sogar 26,6 mg g<sup>-1</sup> im Vergleich zu maximalen 9,8 mg g<sup>-1</sup> im Mittel im tiefen Transekt während den vorliegenden Untersuchungen (vgl. Tab. A I und II im Anhang). die Phosphorkonzentrationen des Pflanzengewebes lagen bei maximal 5 mg g<sup>-1</sup> in den vorliegenden Ergebnissen im Vergleich zu maximalen 1,3 mg g<sup>-1</sup> bei ANDERSON & MITSCH (2005). Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Flächen stickstoffarm und phosphorreich waren, was Auswirkungen auf das N:P Verhältnis hatte (vgl. Abb. 18). Die Ergebnisse der Eisengehalte des Pflanzengewebes waren vergleichsweise niedrig (0,05-0,27 mg g<sup>-1</sup>), und die Mangankonzentrationen (0,13-0,67 mg g<sup>-1</sup>) des Pflanzengewebes dagegen vergleichsweise hoch, zu Untersuchungen von Pflanzengewebskonzentrationen von *Typha angustifolia* aus Braunkohlesees (Fe = 0,35 mg g<sup>-1</sup>, Mn = 0,06 mg g<sup>-1</sup>, SAMECKA-CYMERMAN & KEMPERS 2001).

Die Resultate der Biometrie und Biomasse der *Typha angustifolia*-Bestände der vorliegenden Arbeit demonstrierten die starke Plastizität und Anpassung der Art an

annuelle Wasserstandsänderungen und Wasserspiegelschwankungen. Weiterhin zeigten die Ergebnisse, dass die Wasserspiegelschwankungen einerseits negative und andererseits auch positive Einflüsse auf die Morphologie und Produktivität der Art haben. Durch die Stickstoffarmut der Böden der Untersuchungsflächen und die Stickstofflimitierung der Art *Typha angustifolia* wirkten sich die unterschiedlichen Flächen nicht auf die Morphologie und Produktivität der Pflanzenbestände aus. Trotz der Stickstoffarmut und der annuellen Wasserspiegelschwankungen entsprach die Produktivität der Bestände im Vergleich den Erwartungen für diesen Breitengrad und anderen Untersuchungen.

#### 4.2. Diskussion der Ergebnisse der Gaswechseluntersuchungen

Gänzlich unbeeindruckt von den annuellen Wasserstandsänderungen und Wasserspiegelschwankungen waren die CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O- Austauschraten auf der Blattebene. Innerhalb der Wasserstandstransecte bestanden im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Austauschrate ( $J_{CO_2}$ ) in beiden Untersuchungsperioden keine signifikanten Unterschiede. Allerdings veränderten sich die  $J_{CO_2}$  Werte im Periodenvergleich. In der Untersuchungsperiode 2004 waren die maximalen CO<sub>2</sub>-Aufnahme höher und die maximale CO<sub>2</sub>-Abgabe niedriger als in der vorangegangenen Untersuchungsperiode 2003. Für die Untersuchungsart *Typha angustifolia* liegen keine vergleichbaren bekannten Untersuchungen vor. Lediglich PEZESHKI et al. (1996) konnten unter Laborverhältnisse an der verwandten Art *Typha domingensis* feststellen, dass die Nettophotosynthese signifikant um 71 Prozent (Redoxpotential -200 mV) gegenüber gut durchlüfteten Verhältnissen (Redoxpotential +200 mV) abnahm. Die Nettophotosynthese fiel von 7,84 (200 mV) auf 2,26  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ Blatt s}^{-1}$  (-200 mV) bei *Typha domingensis* und sogar von 6,71 auf -5,68  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ Blatt s}^{-1}$  bei *Cladium jamaicense*. In einem andern Laborexperiment von LI et al. (2004) an der verwandten Art *Typha latifolia* war bei der kontinuierlich überfluteten Variante (min 5 cm) nach 43 Tagen die Nettophotosyntheserate um signifikant 50 Prozent höher als bei der drainierten Variante (Kontrolle = 16,82  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ Blatt s}^{-1}$ ). Bei der kontinuierlich trockenen Variante war dagegen die Nettophotosyntheserate um 90 Prozent gegenüber der Kontrolle signifikant reduziert. Diese Ergebnisse zeigten, dass es durch Überflutung im Hinblick auf die  $J_{CO_2}$  zu ganz unterschiedlichen Reaktionen, positiven als auch negativen, kommen kann. Wobei zu bedenken ist, dass im Feld ganz andere Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Atmosphäre und auch Rhizosphäre ablaufen

können als unter Laborbedingungen. Im Fall der vorliegenden Untersuchungen waren alle Transektpunkte (flach, mittel, tief) unterschiedlich stark, aber kontinuierlich während der Messungen überflutet. Die Ergebnisse von LI et al. (2004) lassen darauf schließen, dass die kontinuierlich Überflutung die  $J_{CO_2}$  bei *Typha* eher begünstigt als kontinuierliche Trockenheit. Aus den hohen Maximalwerten der  $CO_2$ -Aufnahme der vorliegenden Untersuchungen lässt sich folgern, dass die kontinuierliche Überflutung keine Depression der Pflanzen hervorrief. Zum Vergleich konnten FARNSWORTH & MEYERSON (2003) während Feldmessungen an *Typha angustifolia* Stängeln im August im Süßwasser Photosynthese Maximalwerte von  $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  messen, während im Brackwasser signifikant geringere Maximalwerte von  $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  erreicht wurden. Im Mai dagegen erreichten die Pflanzen im Brackwasser höhere Maximalwerte als im Süßwasser, aber trotzdem wurden dort schon Maximalwerte von  $28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  erzielt. Jedoch ging aus der Studie nicht hervor, ob die Messstängel zum Zeitpunkt der Messungen überflutet oder trocken lagen. Die Messungen im Botanischen Garten der Universität Ulm ergaben einen Maximalwert der  $CO_2$ -Aufnahme von  $31,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . In Untersuchungen an der verwandten *Typha latifolia* konnten Maximalwerte der Photosynthese zwischen  $43 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (LARCHER 1994),  $27,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (KNAPP & YAVITT 1995) und  $26,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (LI et al 2004) gemessen werden. Generell gab LARCHER (1994) für Sumpfpflanzen Maximalwerte der Photosynthese von 12-25 ( $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) an. Dementsprechend waren die Maximalwerte der  $CO_2$ -Aufnahme (Maximum  $21,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) der vorliegenden Untersuchungen hoch, zumal die Strahlungsverhältnisse innerhalb der Bestände nicht einer Maximalstrahlung entsprachen.

Unabhängig von Wasserstand, Untersuchungsfläche und Untersuchungsperiode zeigten die  $J_{CO_2}$  keinen „tagestypischen“ Verlauf. Zum Vergleich wiesen die an *Typha angustifolia* Stängeln durchgeführten Messungen im Botanischen Garten der Universität Ulm der vorliegenden Arbeit einen „typischen“ Tagesgang von  $J_{CO_2}$  auf. Im Tagesverlauf kam es zu  $CO_2$ -Abgaben, besonders in den Nachmittagsstunden und in der Mittagszeit, in denen die Strahlung am intensivsten war. Dies war sehr verwunderlich, da *Typha* zu den  $C_3$  Arten zählt, die das effizienteste  $CO_2$  Assimilationssystem besitzen (McNAUGHTON & FULLEM 1970). Außerdem wären nach KUTSCHERA (1998) Maximalwerte der  $CO_2$ -Abgabe zwischen 1 bis  $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  zu erwarten. Die vorliegenden Messungen zeigten allerdings Maximalwerte der  $CO_2$ -Abgabe von bis zu  $21,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in der

Untersuchungsperiode 2003 und  $11,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in der Untersuchungsperiode 2004. Außerdem war die  $J_{\text{CO}_2}$  nicht mit den mikroklimatischen Verhältnissen zu erklären. Ähnliche  $\text{CO}_2$ -Abgaben (Maximalwert  $7,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) konnte schon SCHIRMER (1998) bei Tagesgängen an verschiedenen Standorten im schwäbischen Donaumoos an *Typha latifolia* beobachten. Auch PEZESHKI et al. (1996) konnten bei *Cladium jamaicense* auf Böden mit niedrigem Redoxpotential  $\text{CO}_2$ -Abgaben messen ( $5,68 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Diese hohen  $\text{CO}_2$ -Abgaben führten schließlich zu teilweise negativen Kohlendioxidbilanzen des Tages. Die Pflanzen mussten also noch über andere  $\text{CO}_2$ -Quellen außer des atmosphärischen Kohlendioxid verfügen, um im Tagesverlauf  $\text{CO}_2$  abzugeben. Dies wird im Folgenden in der Diskussion der Kohlenstoffbilanzen ausführlich erklärt und diskutiert.

Die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate ist in erster Linie strahlungsabhängig (PFD) (LAWLOR 1990, LARCHER 1994, von WILLERT et al. 1995). Dieser Zusammenhang war auch für die Messungen festzustellen. Auf beiden Untersuchungsflächen und Untersuchungsperioden korrelierte die PFD eng mit der  $\text{CO}_2$ -Austauschrate. Neben der Strahlung waren die Wasserzufuhr und die Temperatur die Faktoren, die den Gaswechsel beeinflussten (LARCHER 1995, SAGE & REID 2000). Da die Wasserzufuhr ausreichend während der Messungen den *Typha angustifolia* Stängeln zur Verfügung standen, war der Faktor Temperatur entscheidender. Das Temperaturoptimum für die  $J_{\text{CO}_2}$  liegt zwischen  $20\text{-}30^\circ\text{C}$  und wird ab  $45^\circ\text{C}$  gehemmt (LARCHER 1995, SAGE & REID 2000). KNAPP & YAVITT (1994) konnten an der verwandten Art *Typha latifolia* feststellen, dass mit zunehmender Temperatur die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate und die stomatare Leitfähigkeit zunahm (Tages- und Saisonabhängig). Zeitweise wurden während der Messungen der vorliegenden Arbeit Temperaturen mit über  $40^\circ\text{C}$  gemessen. Allerdings bestanden zwischen der  $\text{CO}_2$ -Austauschrate und der Temperatur nur geringe oder auch keine signifikante Abhängigkeiten während der Messungen. Zum Vergleich bestand bei den Messungen im Botanischen Garten dagegen eine engere signifikante Abhängigkeit zwischen  $\text{CO}_2$ -Austauschrate und der Temperatur. Zusammengefasst waren also alle für die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate unter optimalen Messbedingungen relevanten Faktoren abgesehen von der PFD einflusslos. Ein weiterer Faktor, der die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate beeinflussen könnte war die  $C_i$  ( $\text{CO}_2$ -Konzentration in den Interzellularen); (von WILLERT et al. 1995). Die  $C_i$  war während der Messungen zeitweise hoch (Untersuchungsperiode 2003: maximal  $>1500 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol Luft}^{-1}$ ; Untersuchungsperiode 2004: maximal  $>500$

$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol Luft}^{-1}$ ) und spiegelte die  $\text{CO}_2$ -Sättigung der Interzellularen wider. Zum Vergleich lagen die  $C_i$ -Werte der Blätter während der Messungen des Experiments im Botanischen Garten der Universität Ulm bei Werten  $< 300 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol Luft}^{-1}$ . So war am Kuibyschew-Reservoir also teilweise die  $\text{CO}_2$ -Sättigung der Interzellularen bei den Blättern erreicht und die Stängel gaben gleichzeitig mit der Transpiration auch  $\text{CO}_2$  ab. Dies demonstrieren auch die Ergebnisse des Zusammenhangs  $C_i$  versus Blattleitfähigkeit (vgl. Abb. 33). Bei niedriger  $C_i$  werden die Stomata geöffnet und bei hoher  $C_i$  die Stomata stärker verengt als in normaler Umgebungsluft (ca.  $340 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ), (von WILLERT et al. 1995).

Die  $\text{H}_2\text{O}$ -Austauschrate korrelierte dagegen in den Feldmessungen am Kuibyschew-Reservoir als auch während der Vergleichsmessungen im Botanischen Garten eng mit der Temperatur und der stomatären Leitfähigkeit. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen und den Messungen im Botanischen Garten ergaben sich während der gesamten Feldmessungen keine Abnormalitäten im Bezug auf die Abhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit ( $g$ ) von Temperatur und Strahlung (sensu KNAPP & YAVITT 1995). Allerdings zeigten sich während der Untersuchungsperiode 2004 auf beiden Untersuchungsflächen für die Parameter  $V_{\text{pdl}}$  und Transpiration Gradienten von flach nach tief innerhalb der Wasserstandstransekte (Tab. 19). Diese Phänomen war durch einen signifikanten Anstieg der Temperatur am Blatt der tiefen Stängel zu erklären. Dieser Temperaturgradient konnte sich durch die Dichte der Stängel ergeben. Im tiefen Transektpunkt war die Dichte der Stängel signifikant am geringsten und somit der Einfluss der Strahlung erhöht, der zu einer erhöhten Temperatur führte.

Ein weiterer Faktor, der die Messungen und damit die Austauschraten beeinflussen könnte, war die Dichte der Stängel und der Blattflächenindex (LAI). So könnten Unterschiede bestehen im Bezug auf Schattenblatt oder Lichtblatt besonders wenn man innerhalb eines Bestandes misst (LARCHER 1995). Vergleichsweise zu anderen Literaturangaben entsprach der LAI auf den beiden Untersuchungsflächen den von der Literatur angegebenen Werten. So lag der LAI bei FARTHWORTH & MEYERSON 2003 zwischen 2,9-2,4 für *Typha angustifolia*-Bestände im Brackwasser und Süßwasser. Jedoch gab es zwischen den Untersuchungsflächen signifikante Unterschiede. Der LAI war auf der Fläche Pobedilowo mit  $\bar{x}_{\text{LAI}}=2,8$  signifikant höher als auf der Fläche Saraly ( $\bar{x}_{\text{LAI}}=2,0$ ; vgl. Tab. 17). Hieraus ergaben sich aber keine Nachteile für die Fläche Pobedilowo. Im Gegenteil war die PFD und die  $\text{CO}_2$ -Austauschrate auf der Untersuchungsfläche

Pobedilowo sogar höher. So kann man davon ausgehen, dass die Dichte und der LAI die Messungen im vorliegenden Fall nur gering beeinflusste.

Unterschiede zwischen den Untersuchungsflächen während der Messungen ergaben, dass die Fläche Saraly feuchter, kühler und die Strahlung geringer war. Diese Unterschiede ergaben sich durch die äußeren Umstände der Untersuchungsflächen. So lag die Untersuchungsfläche Saraly in mitten eines Naturschutzgebiets mit angrenzenden Pflanzengesellschaften (Waldklima), im Gegensatz zu angrenzenden Stadtgebieten der Untersuchungsfläche Pobedilowo. Andererseits war die Fläche Saraly eher durch die offenen Seeflächen beeinflusst als die Untersuchungsfläche Pobedilowo, die sich in einer geschützten Bucht befand. Insgesamt konnte die Beeinflussung durch die Witterung (Mikroklima) der Flächen während der Messungen aus den vorliegenden Gründen als gering bewertet werden.

#### **4.3. Diskussion der Ergebnisse der Kohlenstoffaufnahme und Bilanzierung**

Die hohen CO<sub>2</sub>-Abgaben der Pflanzen führten zu teilweise negativen Kohlenstoff-tagesgewinnen. Besonders in der Untersuchungsperiode 2003 waren diese zu finden. Wasserstandsunterschiede und Untersuchungsflächen hatten keinen Einfluss auf die Kohlenstofftagesgewinne. Im Vergleich zu anderen Messungen waren besonders die Kohlenstofftagesgewinne in der Untersuchungsperiode 2004 höher. So lagen am Vehtensee in den Niederlanden die Kohlenstofftagesgewinne von *Typha angustifolia* bei 0,32 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (BEST 1882), während in den vorliegenden Untersuchungen Gewinne von bis zu 2,44 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> erreicht wurden.

Wie schon die CO<sub>2</sub>-Gaswechselfmessungen vermuten ließen, zeigten die Resultate der errechneten Kohlenstoffjahresbilanzen ein Defizit. Die oberirdische Trockenbiomasse wurde nur zu 40 bis 75 Prozent durch die Aufnahme von atmosphärischen Kohlenstoff gedeckt. Die restlichen 25 und 60 Prozent der oberirdische Trockenbiomasse müssten aus anderen Kohlenstoff- bzw. Kohlendioxidquellen stammen. So konnten CONSTABLE et al 1992 feststellen, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Aerenchym der verwandten Art *Typha latifolia* bis zu 18 mal höher als in der Atmosphäre waren. In weiteren Untersuchungen bewiesen CONSTABLE & LONGSTRETH (1994), dass die erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von den Pflanzen auch verassimiliert werden konnten. Das bereitgestellte, durch methanotrophe Bakterien oxidierte CO<sub>2</sub> wurde aus den Wurzeln und Rhizomen

---

durch die Lagunen der Blattaerenchyme transportiert (sensu COLMER 2003). Methan ist ein Endprodukt der Kohlenstoffreduktion und wird in Feuchtgebietsböden und -sedimenten unter anoxischen Bedingungen akkumuliert. Die Methanbildner sind streng anaerobe Bakterien (zum Beispiel *Methanobacterium*, SCHLEGEL 1992). In einigen Arbeiten konnte bewiesen werden, dass MOB's (Methan oxidierende Bakterien) im Zusammenhang mit Feuchtgebietsarten vermehrt vorkommen oder Methan verstärkt verbraucht wurde (KING 1994, GILBERT et al 1998, BODELIER et al. 2000a; BODELIER et al. 2000b). Mit Hilfe des von den Wurzeln abgegebenen Sauerstoffs können MOB's Methan in Kohlenstoffdioxid umwandeln. Das entstandene Kohlenstoffdioxid kann wieder in den Kohlenstoffhaushalt der Pflanze überführt werden und somit die Lücke im Kohlenstoffzyklus schließen. Diese methanotrophen Bakterien gewährleisten nicht nur eine Wiederverwertung des Kohlenstoffs, sondern verhindern auch einen Großteil der Diffusion von Methan in die Atmosphäre. Atmosphärisches Methan ist das zweitwichtigste Klimahausgas und wird durch diese Vorgänge recycelt und erreicht somit nicht die Atmosphäre (RANGHOEBARSING et al. 2005). Von dem potentiell durch Feuchtgebietspflanzen emittierbaren Methan könnten 10-90 Prozent durch MOB's oxidiert werden (SCHIPPER & REDDY 1996; BOSSE & FRENZEL 1998). Neben O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> können auch noch Ethylen (VISSER et al. 1996) oder Methan selber (YAVITT & KNAPP 1998) durch die Aerenchyme in die Blattorgane transportiert werden. Zur Zeit der Messungen im August waren alle Messstängel schon seit dem Frühjahr überflutet und hervorgehend aus den Sauerstoffmessungen in der Rhizosphäre lagen auf beiden Untersuchungsflächen Anoxie bis zum Teil Hypoxie vor (vergl. GÄNG 2006). Schon CONSTABLE et al 1992 wiesen daraufhin, dass besonders im August hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Lagunen der Aerenchyma bei *Typha latifolia* vorlagen. Ein zusätzlicher Effekt bei der Gattung *Typha* ssp. ist die Ausbildung dieser bereits genannten Lagunen (Gasräume) im Aerenchym von Vorteil um CO<sub>2</sub> anzureichern. Zum Beispiel im Gegensatz zu *Phragmites australis*, dessen Aerenchyma Gasräume vom Rhizom bis zur Blattspitze reichen (BRIX 1990). Gleichzeitig sind die Aerenchyme bei *Typha angustifolia* dagegen sehr effektiv, denn der Konvektionsfluss ist blattflächenspezifisch sehr hoch und fördert das Wachstum im tieferen Wasser (TORNBJERG et al 1994, VRETARE STRAND 2002). Außerdem war die Ventilations-Kapazität bei *Typha angustifolia* zwei mal so hoch wie bei *Typha latifolia*, was dafür spricht, dass die Belüftung der Wurzeln effizienter ist



Überflutungsgrad stattfand. Also sowie im tiefen Wasser als auch im flachen Wasser wurden die *Typha*-Stängel durch die beschriebenen effektiven Aerenchyme gut mit CO<sub>2</sub> aus der Rhizosphäre versorgt. Allerdings war auf der nährstoffreicheren, urbaneren Untersuchungsfläche (Pobedilowo) die Deckung des CO<sub>2</sub>-Bedarfs aus dem atmosphärischen CO<sub>2</sub> signifikant geringer als auf der nährstoffärmeren, naturnahen Untersuchungsfläche (Saraly). JESPERSEN et al. (1998) konnten feststellen, dass die Methanogenese unter Wachstum von *Typha latifolia* im naturnahen Sediment (34 %) zweimal so stark reduziert wurde als im Azetat angereicherten Sediment (18 %). Dies war möglicherweise ein Grund dafür, dass die Oxidation von Methan zu CO<sub>2</sub> in naturnahen Sedimenten unter dem Wachstum von *Typha* ssp. verstärkt stattfand, und auch erhöht via Aerenchym in die Blätter der Pflanzen gelangte. Die Pflanzen im naturnahen Sediment mussten also deutlich weniger atmosphärischen CO<sub>2</sub> aufnehmen als ihre Vertreter im nährstoffreicheren Sediment.

#### 4.4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Arbeit waren ein Teilaspekt eines Projektes mit der Zielsetzung zu untersuchen inwiefern die Art *Typha angustifolia* die Lebensbedingungen im Litoral der Uferzonen des Kuibyschew-Reservoirs (Russische Föderation) verbessert. Es wurde eine größere Artenvielfalt und Produktivität unterschiedlicher Organismusgruppen innerhalb der *Typha angustifolia*-Bestände als ohne diese vorgefunden (YAKOVLEV et al. 2003). Weiterhin konnte gezeigt werden, dass der ROL von *Typha angustifolia* ausreicht die eigne Rhizosphäre im Gegensatz zu vegetationsfreien Uferzonen zu belüften (GÄNG 2006). Allerdings wurde der durch den ROL in die Rhizosphäre transportierte Sauerstoff sofort von Bakterien verkonsumiert (sensu BODELIER et al. 1996, BODELIER 2003) und vermutlich waren auch andere Interaktionen zwischen den Pflanzen und Organismen wie Mykorrhizen möglich (sensu STENLUND & CHARVAT 1994, TANG et al. 2001, DUNHAM et al. 2003, BOHRER et al. 2004). So zeigten Untersuchungen in einem Experiment im Phytotron eine Abhängigkeit der Sauerstoffgehalte im Wurzelraum von der mikrobiologischen Aktivität (GÄNG 2006). Die Sauerstoffgehalte in den mit Micropur behandelten hydroponischen Lösungen waren signifikant höher als in den unbehandelten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass die oberirdische trockenen Biomasseproduktivität am Kuibyschew-Reservoir hoch war (im Mittel zwischen 563 bis

935 g m<sup>-2</sup> Jahr<sup>-1</sup>; vgl. Abb. 37). Im Mittel wurden 44 Prozent der oberirdischen Biomasse durch Kohlenstoff gedeckt. Gleichzeitig zeigten die Ergebnisse, dass vermutlich ein Wechselspiel zwischen den MOB's (Methan oxidierende Bakterien) und den *Typha*-Ramenen nötig war um die hohe Biomasseproduktivität von *Typha angustifolia* zu erklären. Nach den vorliegenden Berechnungen müssten 25 bis 60 Prozent des Kohlenstoffs der oberirdischen Trockenbiomasse aus der Methanoxidation stammen (Abb. 37). Trotz hoher CO<sub>2</sub>-Aufnahmen der Kohlendioxid-Austauschrate (Maximum J<sub>CO2</sub>=21,8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) waren die Tagesaufnahmen zum Teil negativ (vgl. Abb. 37). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit konnten aber auch zeigen, dass derartige Ergebnisse unter experimentellen Bedingungen (Experiment im Botanischen Garten der Universität Ulm) sich nicht nachweisen ließen. Scheinbar ist für den Aufbau von Stoffaustauschmechanismen zwischen den Wasserpflanzen und Mikroorganismen in der Rhizosphäre ein Prozess über mehrere Vegetationsperioden nötig. Außerdem sind derartige anoxischen Bedingungen wie am Kuibyschew-Reservoir vorherrschen experimentell schwer realisierbar. Die Pflanzen müssten über mehrere Vegetationsperioden mit sehr hohen Wasserständen überflutet werden. Hierzu wären Mesokosmos Experimente wie bei ANDERSON & MITSCH (2005) nötig.

Der negative Einfluss der Wasserspiegelschwankungen am Kuibyschew-Reservoirs auf die oberirdische Biomasseproduktion innerhalb der Bestände war vorhanden (vgl. Abschnitt 4.1.; Seite 90). Dagegen blieben die Gasaustauschraten von den Wasserspiegelschwankungen am Kuibyschew-Reservoirs unbeeinflusst (Abb. 37). Der höhere Nährstoffeintrag der Untersuchungsfläche Pobedilowo hatte keinen Einfluss auf Biomasseproduktion und Gasaustausch der *Typha*-dominierten Litoralgesellschaften. Beide Flächen waren reich an Phosphor und der limitierende Stickstoff war auf beiden Flächen gleich niedrig. Auf Grund der Stickstofflimitierung der Art sollte bei weiteren Experimenten besonders auf den Stickstoff des Substrats geachtet werden.

Die Resultate der vorliegenden Arbeit verdeutlichen den potentialen Nutzen der Art *Typha angustifolia* an den Uferzonen nicht nur am Kuibyschew-Reservoir. Die Art hat Mittel und Wege gefunden mit den örtlichen annuellen Wasserstandsänderungen und Wasserspiegelschwankungen fertig zu werden, und zusätzlich noch produktiv und effizient zu sein. Die Produktivität, die durch „Mutualismus“ mit Mikroorganismen einhergeht, hat einen positiven Effekt auf das gesamte Ökosystem an den Ufern des Kuibyschew-Reservoirs. Trotzdem bestehen noch viele Forschungslücken. Die bisherigen

---

Untersuchungen an den Beständen der Art konnten nur ansatzweise die Mechanismen zum Erreichen dieser Produktivität verständlich machen. Es müssten sichere Beweise gefunden werden, dass die CO<sub>2</sub> Quelle der *Typha*-Pflanzen aus der vermuteten CH<sub>4</sub>-Oxidation stammt. Vorerst wären dazu mikrobiologische Untersuchungen der Standorte notwendig, um festzustellen, ob MOB's (Methan oxidierende Bakterien) im Zusammenhang mit *Typha angustifolia* vermehrt vorkommen oder Methan verstärkt verbraucht wird. Hierzu könnten Untersuchungen mit stabilen Isotopen, wie zum Beispiel C<sup>13</sup>, die Zusammenhänge, Wege und Interaktionen zwischen der Rhizosphäre, MOB's und Pflanzen leichter erkennen lassen. Weiterhin wurde die Phänologie und das Wachstum der Pflanzen nicht ausreichend untersucht. So könnte die Biomasse der Bestände viel häufiger während der Vegetationsperiode unter unterschiedlichen Wasserständen ermittelt werden. Um den Einfluss von Nährstoffen unter Wasserspiegelschwankungen genauer zu quantifizieren, könnten Dünger eingesetzt werden. Ebenfalls müssten Gaswechseluntersuchungen im Frühjahr unternommen werden, um die gesamte Einspeisung von Kohlendioxid aus der Methanoxidation in den Gaswechsellvorgang und die Photosynthese zu ermitteln. Weiterhin gehört *Typha angustifolia* mit zu den effizientesten Arten der Feuchtgebietspflanzen und ist eine erfolgreiche Konkurrenzart. Außerdem ist viel über die Art bekannt. Daher könnten langfristige Untersuchungen Auswirkungen von klimatischen Veränderungen verdeutlichen.

## 5. Zusammenfassung

*Typha angustifolia* L. (*Typhaceae*) gehört zu den aquatischen emergenten Makrophyten. Die Art ist weit verbreitet in allen Feuchtgebietstypen der nördlichen Hemisphäre und effizient in ihrer Produktivität. *Typha angustifolia* ist in der Lage hauptsächlich durch die Ausbildung von Interzellularräumen, den Aerenchymen, ihre Wurzeln und Rhizome in der Rhizosphäre zu belüften. Dadurch ist sie in der Lage lang anhaltende Perioden in überfluteten anoxischen Böden auszuhalten und kann bis zu 160 cm überflutet werden. Von vielen Feuchtgebieten, hauptsächlich Großseen und Reservoirs ist bekannt, dass die Wasserstände annuell und periodisch schwanken können. Im Fall des Untersuchungsgebiets Kuibyschew-Reservoir (Russische Föderation) der vorliegenden Arbeit kann es zu Wasserspiegelschwankungen von maximal 6 m jährlich kommen. Über die Auswirkungen derartiger Wasserspiegelschwankungen auf die Ufergesellschaften, in diesem Fall *Typha angustifolia*-dominierten Beständen ist wenig bekannt.

Das Ziel der folgenden Arbeit war es die Auswirkungen der periodischen Wasserspiegelschwankungen im Hinblick auf Produktivität und Biometrie, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-Gaswechsel sowie Kohlenstoffbilanzen an *Typha angustifolia* Beständen zu ermitteln. Zusätzlich sollte der Einfluss von Trophie auf die Bestände während dieser Wasserspiegelschwankungen geprüft werden. Speziell sollten folgende Fragestellungen untersucht werden:

- (1) Reagieren biometrische Kenngrößen von *Typha angustifolia* auf unterschiedliche periodische Wasserstandsänderungen?
- (2) Haben besser Nährstoff-versorgte Standorte Einfluss auf biometrische Kenngrößen von *Typha angustifolia*?
- (3) Reagiert der CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-Gaswechsel von *Typha angustifolia* auf periodische Wasserstandsänderungen?
- (4) Haben besser Nährstoff-versorgte Standorte Einfluss auf den Gaswechsel von *Typha angustifolia*?
- (5) Beeinflussen die periodischen Wasserstandsänderungen die Kohlenstoffbilanzen der *Typha angustifolia* Bestände?

Dazu wurden in drei Untersuchungsperioden 2002-2004 zwei Untersuchungsflächen am Kuibyschew-Reservoir, die sich hinsichtlich von Boden- und Wassernährstoffeintrag (stadtnah und naturnah) unterschieden, eingerichtet. In den *Typha angustifolia* dominierten Beständen der Untersuchungsflächen wurden drei Transekte innerhalb des Gradientes des

Wasserstands (flach, 0-50 cm; mittel, 50-70 cm; tief, >70 cm) angelegt. Jeweils am Ende der Vegetationsperiode im September wurden Dichte, Höhe, Fruchtstände, Blattflächenindex und oberirdische Biomasse in 3x1 Einzelquadrat (m<sup>2</sup>) pro Transktpunkt aufgenommen, geerntet und ausgewertet. Im Juli und August der Untersuchungsperioden 2002, 2003 und 2004 wurden in zwei Transekten auf beiden Untersuchungsflächen mit einem Porometer (LICOR 6400) in mindestens zwei Tagesgänge der CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-Gaswechsel gemessen. Aus den Resultaten der Tagesgänge wurden Kohlenstofftagesgewinne errechnet. Die Kohlenstofftagesgewinne wurden auf das Jahr hochgerechnet und mit dem Kohlenstoffjahresgewinn der oberirdischen Biomasse (x Blattfläche) bilanziert. Zur Unterstützung der Feldmessungen wurden in einem weiteren Experiment an der Universität Ulm drei Tagesgänge mit dem Porometer an 10 *Typha angustifolia* Pflanzen gemessen. Die wichtigsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- (1) Die Wasserspiegelschwankungen hatten einen negativen Einfluss auf die Biomasseproduktion und Dichte der Pflanzen.
- (2) Zwischen der besser und schlechter Nährstoff versorgten Fläche im Hinblick auf die Produktivität der *Typha*-Bestände bestanden keine Unterschiede.
- (3) Weder die Nährstoffversorgung, noch die Wasserspiegelschwankungen hatten einen Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Gaswechsel.
- (4) Trotz optimalen mikroklimatischen Bedingungen gaben die *Typha*-Bestände im Tagesverlauf CO<sub>2</sub> ab und somit entstand eine negative Kohlenstoff- Tages- und auch Jahresbilanz.
- (5) Unter experimentellen optimalen mikroklimatischen Bedingungen fanden diese CO<sub>2</sub>-Abgaben durch die *Typha*-Rameten im Tagesverlauf nicht statt.

Die negativen Kohlenstoffjahresbilanzen konnten dadurch erklärt werden, dass die *Typha*-Pflanzen mit CO<sub>2</sub> aus der Methanoxidation durch Mikroorganismen in der Rhizosphäre, transportiert und angereichert durch die Aerenchyme, versorgt wurden und dadurch ihre Kohlenstoffbilanz ausglich.

Die Resultate der vorliegenden Arbeit verdeutlichen den potentialen Nutzen der Art *Typha angustifolia* an den Uferzonen nicht nur am Kuibyschew-Reservoir. Die Arbeit stellt einen weiteren Schritte dar die Wechselwirkungen, Mechanismen und Prozesse zwischen Makrophyten und deren Umwelt sowie deren positiven Effekt auf das gesamte Uferökosystem zu verstehen.

## 6. Summary

*Typha angustifolia* L. (*Typhaceae*) belongs to the group of aquatic emergent macrophyts. The species is widely spread in all types of wetlands of the northern hemisphere and efficiently productive. By forming aerenchym *Typha angustifolia* is able to ventilate its roots and rhizomes in the rhizosphere and can withstand flooding of over 160 cm. It is well known that many wetlands, mainly lakes and reservoirs, can fluctuate annually and periodically in their water level. The Kuybyshev reservoir in Russia was the area investigated in this study. The water level can fluctuate annually up to a maximum of 6 m there. Little is known about the effect of such water-level fluctuations on the shore, especially in *Typha angustifolia*-dominated plant communities.

The aim of the following study was to investigate the effect of water-level fluctuation with regard to productivity and biometry, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas exchange as well as its carbon household in stands of *Typha angustifolia*. Additionally, trophic distinctions and their impact on the stands during water-level fluctuations were tested. In particular, the following questions were investigated:

- (1) How do the biometric parameters of *Typha angustifolia* respond to water-level fluctuations?
- (2) Do nutrient-rich sites affect the biometric parameters of *Typha angustifolia*?
- (3) How is the CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas exchange of *Typha angustifolia* affected by the water-level fluctuation?
- (4) Do nutrient-rich sites affect the CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas exchange of *Typha angustifolia*?
- (5) How do the water level fluctuations affect the carbon equilibrium of *Typha angustifolia*?

For this purpose two sites were set up at the Kuybyshev reservoir in three investigation periods from 2002 to 2004. These sites differed in the nutrient contents of the soil and the water. Three transects were set up along a water level gradient (shallow 0-50 cm; moderate 50-70 cm, deep > 70 cm) in the *Typha angustifolia*-dominated stands. At the end of the vegetation period in September, density, height, fruits, leaf area index and above-ground biomass were harvested and/or measured. At all of the three transects 3 one-square-meter subplots were harvested. In minimum two times the CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas exchange was measured in two transects in July and August of each investigation period. A LICOR 6400 Porometer was used for these gas-exchange measurements. The daily carbon uptake was calculated out of the results of these daily courses. The carbon content of above-ground biomass

---

multiplied by the leaf area was compared to the daily carbon uptake. This was used to calculate the annual carbon household. Another experiment was set up at the University of Ulm to support the field data. In this experiment daily courses were measured in experimental conditions with the porometer on 10 *Typha angustifolia* plants. The results can be summarized as follows:

- (1) Water-level fluctuation had a negative influence on above-ground biomass production and density of the stems.
- (2) No difference was found in the productivity between stands with high and low nutrient availability.
- (3) Neither the nutrient availability nor water level fluctuation had an influence on the gas exchange processes.
- (4) The *Typha angustifolia* stems released CO<sub>2</sub> in the course of a day in spite of ideal microclimate conditions. This means that carbon uptake from the atmosphere was lower than total carbon uptake of the plants.
- (5) Such CO<sub>2</sub> release could not be found during daily courses in ideal experimental microclimate conditions.

This negative carbon household might be explained by the ability of *Typha angustifolia* plants to use CO<sub>2</sub> from the oxidation of methane by microorganisms. This is transported and accumulated in their aerenchym. Thus, the plants can maintain their carbon household. The results of the present study clearly show the potential use of the shore-growing species, *Typha angustifolia*, not only at the investigation area of Kuybyshev reservoir. The study provides a further step in our understanding and demonstrates the interactions, mechanisms and processes between the macrophytes and their environment, as well as their positive effect on the shores' ecosystems.

---

## 7. Literatur

- ACHMETZYANOVA N.Sh.** (1984a): Study of semiaquatic plant communities on shallow areas of the Kuybyshev reservoir. Characteristics of producers and consumers. Productivity of island and coastal ecosystems of the Kuybyshev reservoir. Kazan. (In Russisch)
- ACHMETZYANOVA N.Sh.** (1984b): Study of semiaquatic plants communities on shallow areas of the Kuybyshev reservoir. Structure, abundance, dynamics of three dominant macrophyte species. Productivity of island and coastal ecosystems of the Kuybyshev reservoir. Kazan.(In Russisch)
- ACHMETZYANOVA N.Sh., EGOROV J.E., SALACHUTDINOV A.N.** (2000): Role of macrophytes in formation of coastal biocenosis of the Kuybyshev reservoir. Hydrobotany, Borok. (In Russisch)
- AMBROS R., EHRHARDT M. & KERSCHBAUMER J.** (1998): Pflanzenkläranlagen selbst gebaut. Leopold Stocker Verlag, Graz.
- ANDERSON C.J. & MITSCH W.J.** (2005): The effect of pulsing on macrophyte productivity and nutrient uptake: A mesocosm experiment. The American Midland Naturalist 154: 305-319.
- ARMSTRONG J., ARMSTRONG W., BECKETT P.M., HALDER J.E., LYTHER S., HOLT R. & SINCLAIR A.** (1996a): Pathways of aeration and the mechanism and beneficial effects of humidity- and Venturi-induced convections in *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. ex STEUD. Aquatic Botany 54: 177-197.
- ARMSTRONG W.** (1979): Aeration in higher plants. In: Wollhouse H.W. [ed.] Advances in Botanical Research 7: 225-332, Academic Press, London.
- ARMSTRONG W., BRÄNDLE R. & JACKSON M.B.** (1994): Mechanisms of flood tolerance in plants. Acta Botanica Neerlandica 43: 307-358.
- ARMSTRONG W., ARMSTRONG J. & BECKETT P.M.** (1996b): Pressurised ventilation in emergent macrophytes: the mechanism and mathematical modelling of humidity-induced convection. Aquatic Botany 54: 121-135.
- ASAEDA T., HAI D.N., MANATUNGE J., WILLIAMS D. & ROBERTS J.** (2005): Latitudinal characteristics of below- and above-ground biomass of *Typha*: A modelling approach. Annals of Botany 96: 299-312.

- 
- AVAKYAN A.B. & IAKOVLEVA V.B.** (1998): Status of global reservoirs. The position in the late twentieth century. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 3: 45-52.
- BATTY L.C. & YOUNGER P.L.** (2003): Effects of external iron concentration upon seedling growth and uptake of FE and phosphate by the common reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex. Steudel. *Annals of Botany* 92: 801-806.
- BENDIX M., TRONBJERG T. & BRIX H.** (1994): Internal gas transport in *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L. 1. Humidity-induced pressurization and convective throughflow. *Aquatic Botany* 49: 75-89.
- BELYAVSKAYA A.P.** (1958): The coastal and aquatic vegetation of the Kuybyshev Reservoir during the first year and after the filling. *Bulletin of the Institut of Water Reservoirs* 2: 7-10. (in Russisch)
- BEST E.P.H.** (1982): The aquatic macrophytes of lake Vechten. Species composition, spatial distribution and production. *Hydrobiologia* 95: 65-77.
- BODELIER P.L.E., LIBOCHANT J.A., BLOM C.W.P.M. & LAANBROEK H.J.** (1996): Dynamics of nitrification and denitrification in root-oxygenated sediments and adaptatio of ammonia-oxidizing bacteria to low-oxygen or anoxic habitats. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 4100-4107.
- BODELIER P. L. E., HAHN A. P., ARTH I. & FRENZEL P.** (2000a): Effects of ammonium-based fertilisation on microbial processes involved in methane emission from soils planted with rice. *Biogeochemistry* 51: 225-257.
- BODELIER P. L. E., ROSLEV P., HENCKEL T. & FRENZEL P.** (2000b): Stimulation of ammonium-based fertilisers of methane oxidation on soil around rice roots. *Nature* 403: 421-424.
- BODELIER P.L.E.** (2003): Interactions between oxygen-releasing roots and microbial processes in flooded soils and sediments. *Ecological Studies* 168: 331-361.
- BOHRER K.E., FRIESE C.F. & AMON J.P.** (2004): Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza* 14: 329-337.
- BONNEWELL V. & PRATT D.C.** (1978): Effects of nutrients on productivity and morphology of *Typha angustifolia x latifolia*. *Journal of Minnesota Academy Science* 42: 18-20.
- BOSSE U. & FRENZEL P.** (1998): Methane emission from rice microsoms: the balance of production, accumulation and oxidation. *Biogeochemistry* 41: 199-214.

- 
- BRAGINA T.V., PONOMAREVA Yu.V., DROZDOVA I.S. & GRINIEVA G.M.** (2004): Photosynthesis and dark respiration in leaves of different ages of partly flooded Maize seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology* 51: 342-347.
- BRIX H.** (1990): Uptake and photosynthetic utilization of sediment-derived carbon by *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel. *Aquatic Botany* 38: 377-389
- BRIX H., SORRELL B.K. & ORR P.T.** (1992): Internal pressurization and convective gas flow in some emergent freshwater macrophytes. *Limnology and Oceanography* 37: 1420-1433.
- BUSCH J., MENDELSSOHN I.A., LORENZEN B., BRIX H. & MIAO S.** (2004): Growth responses of the Everglades wet prairie species *Eleocharis cellulosa* and *Rynchospora tracyi* to water level and phosphate availability. *Aquatic Botany* 78: 37-54.
- CASPER S.J. & KRAUSCH H.-D.** (1981): Pteridophyta und Anthophyta, Teil II. In: Ettl H., Gerloff J. & Heynig H. [ed.] Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 23 und 24, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- CHAPMAN J.L. & REISS M.J.** (2003): Ecology. Principles and Applications. Second Ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- CLARK E. & BALDWIN A.H.** (2002): Responses of wetland plants to ammonia and water level. *Ecological Engineering* 18: 257-264.
- COLMER T.D.** (2003): Long-distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant, Cell & Environment* 26: 17-36.
- CONLIN T.S.S. & CROWDER A.A.** (1989): Location of radial oxygen loss and zones of potential iron uptake in grass and two nongrass emergent species. *Canadian Journal of Botany* 67: 717-722.
- CONSTABLE J.V.H., GRACE J.B. & LONGSTRETH D.J.** (1992): High carbon dioxide concentrations in aerenchyma of *Typha latifolia*. *American Journal of Botany* 79: 415-418.
- CONSTABLE J.V.H. & LONGSTRETH D.J.** (1994): Aerenchyma carbon dioxide can be assimilated in *Typha latifolia* L. leaves. *Plant Physiology* 106: 1065-1072.
- CORNELISSEN J.H.C., WERGER M.J.A., CASTRO-DÍEZ P., VAN RHEENEN J.W.A. & ROWLAND A.P.** (1997): Foliar nutrients in relation to growth,

- allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecologia* 111: 460-469.
- CRAWFORD** R.M.M. [ed.] (1987): Plant life in aquatic and amphibious habitats. British Ecological Society Publications, Oxford, UK.
- CRONK** J.K. & **FENNESSY** M.S. (2001): Wetland plants. Biology and Ecology. Lewis, Boca Raton.
- CURTIS** J.T. (1957): The vegetation of Wisconsin. University of Wisconsin Press, Madison, USA.
- DACEY** J.W.A. (1981): Pressurized ventilation in the yellow water lily. *Ecology* 62: 1137-1147.
- DeLAUNE** R.D., **JUGSUJINDA** A. & **REDDY** K.R. (1999): Effect of root oxygen stress on phosphorus uptake by cattail. *Journal of Plant Nutrition* 22: 459-466.
- DENNIS** E.S., **DOLFERUS** R., **ELLIS** M., **RAHMAN** M., **WU** Y., **HOEREN** F.U., **GROVER** A., **ISMOND** K.P., **GOOD** A.G. & **PEACOCK** W.J. (2000): Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. *Journal of Experimental Botany* 51: 89-97.
- DUGAN** P. (1993): Wetlands in danger. Michael Beasley, Reed International Books, London.
- DUNHAM** R.M., **RAY** A.M. & **INOUYE** R.S. (2003): Growth, Physiology, and chemistry of mycorrhizal and nonmycorrhizal *Typha latifolia* seedlings. *Wetlands* 23: 890-896.
- DYKYJOVA** D., **VEBLR** K. & **PRIBAN** K. (1971): Productivity and root/shoot ratio of reed swamp species growing in outdoor hydroponic cultures. *Folia Geobotanica Phytotaxa* 6: 233-254.
- ELLENBERG** H., **WEBER** H.E., **DÜLL** R., **WIRTH** V., **WERNER** W. & **PAULISSEN** D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1-248.
- ELSTER** H.J. (1962): Seetypen, Fließgewässertypen und Saprobien-system. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 47: 211-218.
- ENNABILI** A., **ATER** M. & **RADOUX** M. (1998): Biomass production and NPK retention in macrophytes from wetlands of the Tingitan Peninsula. *Aquatic Botany* 62: 45-56.

- 
- ENSSLIN W., KRAHN R. & SKUPIN S.** (2000): Böden untersuchen. Verlag Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- ERNST W.H.O.** (1990): Ecophysiology of plants in waterlogged and flooded environments. *Aquatic Botany* 38: 73-90.
- EVANS D.E.** (2003): Aerenchyma formation. *New Phytologist* 161: 35-49.
- FARNSWORTH E.J. & MEYERSON L.A.** (2003): Comparative ecophysiology of four wetland plant species along a continuum of invasiveness. *Wetlands* 23: 750-762.
- FERNÁNDEZ-ALÁEZ M., FERNÁNDEZ-ALÁEZ C. & BÉCARES E.** (1999): Nutrient content in macrophytes in Spanish shallow lakes. *Hydrobiologia*. 408-409: 317-326.
- GAFNY S. & GASITH A.** (2000): Spatial and temporal variation in the standing biomass of emergent macrophytes: effect of water level fluctuations. *Archiv für Hydrobiologie, Special Issues Advance Limnology* 55: 301-316.
- GÄNG N.** (2006): Sauerstoffdynamik im Wurzelraum von *Typha angustifolia*. Dissertation an der Fakultät der Naturwissenschaften der Universität Ulm, Ulm.
- GARVER E.G., DUBBE D.R. & PRATT D.C.** (1988): Seasonal patterns in accumulation and partitioning of biomass and macronutrients in *Typha* spp.. *Aquatic Botany* 32: 115-127.
- GASITH A., GAFNY S. & GOREN M.** (2000): Response of fish assemblage of rocky habitats to lake level fluctuations: possible effect of varying habitat choice. *Archiv für Hydrobiologie, Special Issues Advance Limnology* 55: 317-331.
- GILBERT B. & FRENZEL P.** (1998): Rice roots and CH<sub>4</sub> oxydation: the activity of bacteria, their distribution and the microinviroment. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1903-1916
- GOLUBEVA I.D.** (1973): Formazia rastitelnosta na broda Kujbysevskoe vodochranilisce. Dissertation, Staatliche Universität Kazan.
- GOLUBEVA I.D.** (1984): On cultivation of wetland plants on shallow water areas of the Kuybyshev reservoir. Productivity of island and coastal ecosystems of the Kuybyshev reservoir. Kazan: 41-59. (in Russisch)
- GRACE J.B.** (1989): Effects of water depth on *Typha latifolia* and *Typha domingensis*. *American Journal of Botany* 76: 762-768.

- 
- GRACE J.B. & HARRISON J.S.** (1986): The biology of Canadian weeds. 73. *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. and *Typha x glauca* Godr. Canadian Journal of Plant Science 66: 361-379.
- GRACE J.B. & WETZEL R.G.** (1998): Long-term dynamics of *Typha* populations. Aquatic Botany 61: 137-146.
- GROSSE W., BÜCHEL H.B. & TIEBEL H.** (1991): Pressurized ventilation in wetland plants. Aquatic Botany 39: 89-98.
- GUBANOV I.A., KISELJEWA K.W., NOWIKOV W.S. & TICHOMIROV W.N.** (2002): Illjustrirowanyj opredelitel rastenij sregnej rossii. Tom 1, KMK Verlag, Moskau.
- GUSTAFSON T.D.** (1976): Production, photosynthesis and storage and utilization of reserves in a natural stand of *Typha latifolia* L.. PhD thesis. University of Wisconsin, Madison, USA.
- HEGI G.** (1980): Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Schultze-Motel W. [Hsg.]: Band 2, Teil 1. Parey, Berlin.
- HEINZ S., WILD U., LENZ A. & KAMP T.** (2002): Sustainable use of degraded fens – effects of a constructed *Typha* wetland on nutrient removal and trace gas fluxes. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 32: 313.
- HEY D.L. & PHILIPPI N.S.** (1995): Food reduction through wetland restoration: The upper Mississippi River basin as a case history. Restoration Ecology 3: 4-17.
- HEYER E.** (1993): Witterung und Klima. BG Teubner Verlag, Stuttgart.
- HILL B.H.** (1988): *Typha* productivity in a Texas Pond. Implications for energy and nutrient dynamics in freshwater wetlands. Aquatic Botany 27: 385-394.
- HORPPILA J. & NURMINEN L.** (2001): The effect of an emergent macrophyte (*Typha angustifolia*) on sediment resuspension in a shallow north temperate lake. Freshwater Biology 46: 1447-1455.
- HULTÉN E. & FRIES M.** (1986): Atlas of North European vascular plants, North of the Tropic of Cancer, Volume 1, Koeltz Scientific Books, Königstein.
- IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate Change 2001: Impacts, Adaption, and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report, Cambridge & New York.
- JACKSON M.B.** (1985): Ethylene and responses of plants in soil waterlogging and submergence. Annual Review of Plant Physiology 36: 145-174.

- 
- JACKSON M.B.** (2002): Long-distance signaling from the shoots assessed: the flooding story. *Journal of Experimental Botany* 53: 175-181.
- JÄGER E.J. & WERNER K.** [Hrsg.] (2002): Rothmaler, Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Band. Spektrum, Berlin.
- JESPERSEN D.N., SORRELL B.K. & BRIX H.** (1998): Growth and root oxygen release by *Typha latifolia* and its effects on sediment methanogenesis. *Aquatic Botany* 61: 165-180.
- JORDAN T.E., WHIGHAM D.F. & CORRELL D.L.** (1990): Effects of nutrient and litter manipulations on the narrow-leaved cattail, *Typha angustifolia* L. *Aquatic Botany* 36: 179-191.
- KEDDY P.A.** (ed.) (2000): *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KEDDY P.A. & FRASER L.H.** (2000): Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: The role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organisation. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5: 177-185.
- KELLOGG C.H., BRIDGHAM S.D. & LEICHT S.A.** (2003): Effects of water level, shade and time on germination and growth of freshwater marsh plants along a simulated successional gradient. *Journal of Ecology* 91: 274-282.
- KIM C., SHIN H. & CHOI H.-K.** (2003): A phenetic analysis of *Typha* in Korea and far east Russia. *Aquatic Botany* 75: 33-43.
- KING G. M.** (1994): Associations of methanotrophs with the roots and rhizomes of aquatic vegetation. *Applied and Environmental Microbiology*: 3220-3227.
- KLAPPER H.** (1992): *Eutrophierung und Gewässerschutz. Wassergütebewirtschaftung; Schutz und Sanierung von Binnengewässern*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- KLOTZ S., KÜHN I. & DURKA W.** (2002): *Biolflor- Eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora in Deutschland*. Bundesamt für Naturschutz, Schriftenreihe für Vegetationskunde, Heft 38, Bonn.
- KNAPP A.K. & YAVITT J.B.** (1995): Gas exchange characteristics of *Typha latifolia* L. from nine sites across North America. *Aquatic Botany* 49: 203-215.

- 
- KOCH M.S. & RAWLIK P.S.** (1993): Transpiration and stomatal conductance of two wetland macrophytes (*Cladium jamaicense* and *Typha domingensis*) in the subtropical everglades. *American Journal of Botany* 80: 1146-1154.
- KOERSELMAN W. & MEULEMAN A.F.M.** (1996): The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology* 33: 1441-1450.
- KOZLOWSKI T.T.** (ed.) (1984): *Flooding and plant growth*. Academic Press, London.
- KRIVENKO V.G.** (1999): *Wetlands in Russia. Volume 1: Wetlands of international importance*. AEME Publication 52, Moscow.
- KUFEL I. & KUFEL L.** (1985): Heavy metals and mineral nutrient budget in *Phragmites australis* and *Typha angustifolia*. *Heavy metals in water organisms. Symposia Biologica Hungarica* 29. Akademiai Kiado Budapest, Hungary: 61-66.
- KUTSCHERA U.** (1998): *Grundlagen der Pflanzenphysiologie*. Quelle & Meyer Verlag, Wiesbaden.
- LARCHER W.** (1994): *Ökophysiologie der Pflanzen*. Ulmer, Stuttgart.
- LAWLOR D.W.** (1990): *Photosynthese. Stoffwechsel-Kontrolle-Physiologie*. Thieme Verlag, Stuttgart.
- LORENZEN B., BRIX H., MENDELSSOHN I.A., McKEE K.L. & MIAO S.** (2001): Growth, biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany* 70: 117-133.
- LI S., PEZESHKI S.R. & GOODWIN S.** (2004): Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). *Acta Oecologica* 25: 17-22.
- LIETH H. & WHITTAKER R.** (1975): *Primary productivity of the biosphere*. Springer Verlag, Berlin.
- MALIK L.K., KORONKEVICH N.I., ZAITSEVA I.S. & BARABANOVA E.A.** (2000): *Development of dams in the Russian Federation and NIS Countries. A WCD briefing paper prepared as an input to the World Commission on Dams*, Cape Town. ([www.dams.org](http://www.dams.org))
- MALTBY E.** (1991): *Wetlands – their status and role in the biosphere*. In: Jackson M.B., Davies D.D. & Lambers H. (eds) *Plant life under oxygen stress*. SPB Academic Publishing bv, Den Haag.

- 
- MAINIERO R. & KAZDA M.** (2005): Effects of *Carex rostrata* on soil oxygen in relation to soil moisture. *Plant and Soil* 270: 311-320.
- MASON C.F. & BRYANT R.J.** (1975): Production, nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* Trin and *Typha angustifolia* L. *Journal of Ecology* 63: 71-95.
- McNAUGHTON S.J. & FULLEM** (1970): Photosynthesis and photorespiration in *Typha latifolia*. *Plant Physiology* 45: 703-707.
- MITSCH W.J. & GOSSELINK J.G.** (2000): *Wetlands*, Wiley, New York.
- MONAKOV A.V.** [Hrsg] (1983): *Kujbysevskoe vodochranilisce*. Akademija nauk SSSR. Institut biologii vnutrennich vod. – Leningrad: „Nauka“.
- OTTE M.** (2001): What is stress to a wetland plant? *Environmental and Experimental Botany* 46: 195-202.
- PANICH-PAT T., POKETHITIYOOK P., KRUATRACHUE M., UPATHAM E.S., SRINIVES P. & LANZA G.R.** (2004): Removal of lead from contaminated soils by *Typha angustifolia*. *Water, Air & Soil Pollution* 155: 159-171.
- PEZESHKI S.R.** (2000): Plant response to flooding. In: Wilkison R.E. [ed.] *Plant-environment interactions*. 298-321. Dekker Inc., New York.
- PEZESHKI S.R.** (2001): Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany* 46: 299-312.
- PEZESHKI S.R., DELAUNE R.D., KLUDZE H.K. & CHOI H.S.** (1996): Photosynthetic and growth responses of cattail (*Typha domingensis*) and sawgrass (*Cladium jamaicense*) to soil redox conditions. *Aquatic Botany* 54: 25-35.
- PONNAMPERUMA F.N.** (1984): The effect of flooding on soils. In: Kozlowski T.T. [ed.] *Flooding and plant growth*. 9-45. Academic Press, London.
- RADOUX M.** (1977): Contribution à l'étude de la productivité, de la structure et du fonctionnement de roselières des districts Mosan et Lorrain. Thèse Doct. FUL. Arlon, Belgique.
- RAGHOEBARSING A.A., SMOLDERS, A.J., SCHMID M.C., RIJPSTRA W.I.C., WOLTERS-ARTS M., DERKSEN J., JETTEN M.S.M., SCHOUTEN S., DAMSTE J.S.S, LAMERS L.P.M., ROELOFS J.G.M., OP DEN CAMP. H.J.M. & STROUS M.** (2005): Methanotrophic symbionts provide carbon for photosynthesis in peat pogs. *Nature* 436: 1153-1156.

- 
- RASKIN I. & KENDE H.** (1985): Mechanism of aeration in rice. *Science* 228: 327-329.
- RAVENGA C., BRUNNER J., HENNIGER N., KASSEM K. & PAYNE R.** (2000): Pilot analysis of global ecosystem: Freshwater systems. World Resources Institut, Washington, DC.
- REID D.M. & BRADFORD K.J.** (1984): Effects of flooding on hormone relations. In: Kozłowski T.T. [ed.] *Flooding and plant growth*. Academic Press, London.
- RUSTAD L., CAMPBELL J., MARION G., NORBY R., MITCHELL M., HARTLEY A., CORNELISSEN J. & GUREVITCH J.** (2001): A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126: 543-562.
- SACHS L.** (2002): *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. Springer Verlag, Berlin.
- SAGE R.F. & REID C.D.** (2000): Photosynthesis response mechanisms to environmental change in C3 plants. In Wilkinson R.E. [ed] *Plant-environment interactions*. 413-499. Dekker Inc., New York.
- SAMECKA-CYMERMAN A. & KEMPERS A.J.** (2001): Concentrations of heavy metals and plant nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of anthropogenic lakes (former open cut brown coal mines) differing in stage of acidification. *The Science of the Total Environment* 281: 87-98.
- SANTOS A.M. & ESTEVES F.A.** (2004): Influence of water level fluctuation on the mortality and aboveground biomass of aquatic macrophyte *Eleocharis interstincta* (VAHL) Roemer et Schults. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47: 281-290.
- SCHEFFER F. & SCHACHTSNABEL P.** (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde*. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHIRMER U.** (1998): Wachstum von *Typha latifolia* L. in Abhängigkeit von der Wasserversorgung. Diplomarbeit Universität Ulm, Ulm.
- SCHIPPER L.A. & REDDY K.R.** (1996): Determination of methane oxidation in the rhizosphere of *Sagittaria lancifolia* using methyl fluoride. *Soil Science Society American Journal* 60: 611-616.
- SCHLEGEL H.G.** (1992): *Allgemeine Mikrobiologie*. Thieme Verlag, Stuttgart.

- 
- SCHUBERT R., HILBIG W. & KLOTZ S. (2001):** Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Spektrum Verlag, Berlin.
- SCHULZE E.-D., HALL A.E., LANGE O.L. & WALZ H. (1982):** A portable steady-state porometer for measuring the carbon dioxide and water vapour exchange of leaves under natural conditions. *Oecologia* 53: 141-145.
- SCHWOERBEL J. (1999):** Einführung in die Limnologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- SELBO S.M. & SNOW A.A. (2004):** The potential for hybridization between *Typha angustifolia* and *Typha latifolia* in constructed wetland. *Aquatic Botany* 78: 361-369.
- SELISKAR D.M. (1990):** The role of water logging and sand accretion in modulating the morphology of the dune slack plant *Scirpus americanus*. *Canadian Journal of Botany* 68: 1780-1787.
- SIFTON H.B. (1945):** Air space tissues in plants. *Botanical Revue* 11: 108-143.
- SLADECEK V. (1973):** System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie - Advances in Limnology. Volume 7. S. 218.* Schweizerbart Verlag, Stuttgart.
- SORRELL B.K, BRIX H. & ORR P.T. (1997):** *Eleocharis sphacelata*: internal gas transport pathways and modelling of aeration by pressurized flow and diffusion. *New Phytologist* 136: 433-442.
- SORRELL B.K. & TANNER C.C. (2000):** Convective gas flow and internal aeration in *Eleocharis sphacelata* in relation to water depth. *Journal of Ecology* 88: 778-789.
- STEENIS J.H., SMITH L.P. & COFER H.P. (1958):** Study on cattail management in the Northeast. *Trans. 1st Wildlife Conference, Montreal, Kanada: 149-155.*
- STENLUND D.L. & CHARVAT I.D. (1994):** Vesicular arbuscular mycorrhizae in floating wetland mat communities dominated by *Typha*. *Mycorrhiza* 4: 131-137.
- STEUBING L. & FANGMEIER A. (1992):** Pflanzenökologisches Praktikum, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- STITT M., QUICK W.P., SCHURR U., SCHULZE E.D., RODERMEL S.R. & BOGORAD L. (1991):** Decreased ribulose-1,5-biphosphate carboxylase-oxygenase in transgenic tobacco transformed with „antisense“ rbcS. II Flux-

- control coefficients for photosynthesis in varying light, CO<sub>2</sub>, and air humidity. *Planta* 183: 555-566.
- STRASBURGER E.** (1993): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- STRÄßER M.** (1998): Klimadiagramm-Atlas der Erde. Teil 1: Europa und Nordamerika. M-Jahresmittelwerte von Temperatur und Niederschlag 1961-1990. Dortmundener Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund.
- SYCYEPANSKA W. & SYCYEPANSKI A.** (1976): Growth of *Phragmites communis* Trin., *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* in relation to fertility of soils. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 23: 233-248.
- TANG F., WHITE J.A. & CHARVAT I.** (2001): The effect of phosphorus availability on arbuscular mycorrhizal colonization of *Typha angustifolia*. *Mycologia* 93: 1042-1047.
- TANNER C.C., D'EUGENIO J., McBRIDE G.B., SUKIAS J.P.S. & THOMPSON K.** (1999): Effect of water level fluctuation on nitrogen removal from constructed wetland mesocosms. *Ecological Engineering* 12: 67-92.
- TORNBJERG T. BENDIX M. & BRIX H.** (1994): Internal gas transport in *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L. 2. Convective throughflow pathways and ecological significance. *Aquatic Botany* 49: 91-105.
- VACCARO L.E.** (2005): Patterns, mechanisms, and ecological implications of cattail (*Typha* spp.) dominance Great Lakes wetlands. Master thesis, Faculty of the Graduate school, Cornell University, Cornell, USA.
- VISSER E.J.W., BOGEMANN G.M., BLOM C.W.P.M. & VOESENEK L.A.C.J.** (1996): Ethylene accumulation in waterlogged *Rumex* plants promotes formation of adventitious roots. *Journal of Experimental Botany* 47: 403-410.
- VÖRÖSMARTY C.J., SHARMA K.P., FEKETE B.M., COPELAND A.H., HOLDEN J., MARBLE J. & LOUGH J.A.** (1997): The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Ambio* 26: 210-219.
- VRETARE V. & WEISNER S.E.B.** (2000): Influence of pressurized ventilation on performance of an emergent macrophyte (*Phragmites australis*). *Journal of Ecology* 88: 978-987.

- 
- VRETARE V., WEISNER S.E.B., STRAND J.A. & GRANÉLI W.** (2001): Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth. *Aquatic Botany* 69: 127-145.
- VRETARE STRAND V.** (2002): The influence of ventilation systems on water depth penetration of emergent macrophytes. *Freshwater Biology* 47: 1097-1105.
- WATANABE I. & FURUSAKA C.** (1980): Microbial ecology of flooded rice soils. *Advances in Microbial Ecology* 4: 125-168.
- WATERS I. & SHAY J.M.** (1990): A field study of the morphometric response of *Typha glauca* shoots to water depth gradient. *Canadian Journal of Botany* 68: 2339-2343.
- WATERS I. & SHAY J.M.** (1992): Effects of water depth on population parameters of *Typha glauca* stand. *Canadian Journal of Botany* 70: 349-351.
- WCD** (World Commission on Dams) (2000): Dams and development: A new framework for decision-making. Report. Earthscan Publications, London.
- WEBER M. & BRÄNDLE R.** (1994): Dynamics of nitrogen rich compounds in roots, rhizomes, and leaves of the sweet flag (*Acorus calamus* L.) at its natural site. *Flora* 189: 63-68.
- WELLS J.M. & NORMAN J.M.** (1991): Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal* 83: 818-825.
- WEISNER S.E.B.** (1993): Long-term competitive displacement of *Typha latifolia* by *Typha angustifolia* in a eutrophic lake. *Oecologia* 94: 451-456.
- WESTLAKE D.F.** (1982): The primary productivity of water plants. In: Symoens J.J., Hooper S.-S., Compère P. (Eds.), *Studies on Aquatic Vascular Plants*. Royal Botanical Society, Belgium, 165-181.
- WIESSNER A., KUSCHK P. & STOTTMEISTER U.** (2002): Oxygen release by roots of *Typha latifolia* and *Juncus effusus* in laboratory hydroponic systems. *Acta Biotechnologica* 22: 209-216.
- WILD U., KAMP T., LENZ A., HEINZ S. & PFADENHAEUR J.** (2001): Cultivation of *Typha* spp. in constructed wetlands for peatland restoration. *Ecological Engineering* 17: 49-54.
- WILLERT von D.J., MATYSSEK R. & HERPPICH W.** (1995): Experimentelle Pflanzenökologie. Grundlagen und Anwendungen. Thieme Verlag, Stuttgart.

- 
- WISSING F. & HOFFMANN K.** (2002): Wasserreinigung mit Pflanzen. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- YAKOVLEV V.A., IVANOV V.D. & KAZDA M.** (2003): Influence of water level fluctuation in the Kuybyshev reservoir on littoral communities with *Typha angustifolia*-dominance. Actual ecological problems of the Republic Tatarstan. Proceedings of VI. International conference in Kazan: 286-287. (in Russisch)
- YAVITT J.B. & KNAPP A.K.** (1998): Aspects of methane flow from sediment through emergent cattail (*Typha latifolia*) plants. New Phytologist 139: 495-503.
- ZHANG F., LIU X.-L., LI X.-F. & LI X.-L.** (2000a): A study on the biomass of *Typha angustifolia* communities in Hutuo Rivers wetlands, Shanxi. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition) 23: 347-349. (In Chinesisch)
- ZHANG J., Van TOAI T., HUYNH L. & PREISZNER J.** (2000b): Development of flooding-tolerant *Arabidopsis thaliana* by autoregulated cytokinin production. Molecular Breeding 6: 135-144.

## **Karten**

**RB DESKKART** - Kartographische Datenbank, Ralf Brennemann, Hamburg.

([www.brennemann-deskkart.de](http://www.brennemann-deskkart.de))

**TOPOGRAPHISCHE KARTE, REPUBLIK TATARSTAN** (2000): Maßstab 1:200.000, Zentrale experimentelle Militärische Kartographische Fabrik, Moskau.

## Anhang

**Tabelle A I:** Stoffkonzentrationen im Pflanzengewebe der getesteten Elemente von *Typha angustifolia* in der Untersuchungsperiode 2003 auf den beiden Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly und sowie im Wasserstandstransekt (flach, mittel, tief); (Mittelwert und Standardabweichung, n=5)

| <b>2003</b>   | <b>Pobedilowo</b> |               |             | <b>Saraly</b> |               |             |
|---------------|-------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| <b>[mg/g]</b> | <b>flach</b>      | <b>mittel</b> | <b>tief</b> | <b>flach</b>  | <b>mittel</b> | <b>tief</b> |
| <b>C</b>      | 436,5±7,5         | 436,7±11,0    | 419,4±7,2   | 432,4±8,5     | 439,4±8,1     | 422,5±3,5   |
| <b>N</b>      | 7,2±1,4           | 7,7±1,4       | 9,8±1,1     | 6,6±1,4       | 6,8±0,5       | 8,6±1,2     |
| <b>P</b>      | 2,6±0,8           | 3,3±0,9       | 5,0±1,3     | 1,8±0,2       | 2,4±0,9       | 3,0±1,0     |
| <b>K</b>      | 8,6±2,1           | 10,8±5,8      | 16,5±8,7    | 12,2±3,1      | 13,9±1,5      | 19,3±7,6    |
| <b>Ca</b>     | 5,7±0,6           | 5,4±0,4       | 5,4±1,1     | 6,6±3,0       | 6,6±1,1       | 8,0±1,6     |
| <b>Mg</b>     | 1,3±0,2           | 1,4±0,4       | 1,1±0,7     | 1,1±0,3       | 1,2±0,3       | 1,8±0,2     |
| <b>Fe</b>     | 0,13±0,15         | 0,08±0,11     | 0,05±0,05   | 0,17±0,17     | 0,13±0,07     | 0,14±0,08   |
| <b>Mn</b>     | 0,50±0,13         | 0,39±0,31     | 0,32±0,07   | 0,42±0,18     | 0,44±0,07     | 0,67±0,23   |

**Tabelle A II:** Stoffkonzentrationen im Pflanzengewebe der getesteten Elemente von *Typha angustifolia* in der Untersuchungsperiode 2004 auf den beiden Untersuchungsflächen Pobedilowo und Saraly sowie im Wasserstandstransekt (flach, mittel, tief); (Mittelwert und Standardabweichung, n=10)

| <b>2004</b>   | <b>Pobedilowo</b> |               |             | <b>Saraly</b> |               |             |
|---------------|-------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| <b>[mg/g]</b> | <b>flach</b>      | <b>mittel</b> | <b>tief</b> | <b>flach</b>  | <b>mittel</b> | <b>tief</b> |
| <b>C</b>      | 456,5±12,9        | 449,7±5,8     | 460,8±10,3  | 451,2±7,2     | 465,5±3,8     | 438,1±6,0   |
| <b>N</b>      | 7,2±1,0           | 8,9±1,6       | 7,3±2,2     | 6,7±1,0       | 7,3±1,9       | 7,2±0,9     |
| <b>P</b>      | 1,7±0,6           | 2,2±0,6       | 1,6±0,7     | 1,4±0,3       | 1,3±0,7       | 1,1±0,4     |
| <b>K</b>      | 7,8±5,0           | 5,6±2,7       | 4,9±2,8     | 6,7±1,2       | 4,5±1,2       | 6,8±1,8     |
| <b>Mg</b>     | 0,9±0,2           | 1,0±0,2       | 1,1±0,2     | 1,3±0,4       | 0,9±0,4       | 0,9±0,2     |
| <b>Fe</b>     | 0,14±0,08         | 0,27±0,05     | 0,21±0,12   | 0,04±0,05     | 0,16±0,09     | 0,10±0,09   |
| <b>Mn</b>     | 0,38±0,24         | 0,13±0,08     | 0,20±0,15   | 0,27±0,20     | 0,26±0,15     | 0,25±0,09   |

**Tabelle A III:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo am 24.07.2002 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Nummern der Messungen wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 4:56:03  | -1.050           | -3.500                    | 533  | 0,27 | 0,35  | 0,136 | 521,3             | 522,3             | 17,57             | 17,989            | 81,54 | 83,48 | 18,7              | 18,1               | 3                | 10               | 7                |
| FlachS1_2           | 5:52:38  | 1.010            | 3.367                     | 603  | 0,80 | 0,078 | 0,006 | 898,9             | 897,6             | 22,71             | 22,798            | 61,67 | 61,92 | 19,4              | 18,9               | 13               | 135              | 74               |
| FlachS1_3           | 6:44:47  | 2.240            | 7.467                     | 342  | 0,87 | 0,18  | 0,012 | 643,0             | 640,2             | 26,84             | 27,055            | 65,81 | 66,34 | 21,1              | 21,3               | 34               | 751              | 393              |
| FlachS1_4           | 7:38:29  | -1.870           | -6.233                    | 903  | 0,94 | 0,58  | 0,037 | 840,6             | 842,3             | 37,48             | 38,149            | 69,80 | 71,05 | 25,6              | 25,5               | 36               | 1167             | 602              |
| FlachS1_5           | 8:41:34  | 3.490            | 11.633                    | 242  | 1,46 | 0,30  | 0,012 | 734,5             | 730,1             | 43,87             | 44,208            | 64,24 | 64,74 | 29,7              | 29,6               | 52               | 1302             | 677              |
| FlachS1_7           | 10:43:37 | 3.730            | 12.433                    | 231  | 2,79 | 0,69  | 0,014 | 697,1             | 692,1             | 54,44             | 55,226            | 54,99 | 55,78 | 36,3              | 36,6               | 62               | 1131             | 597              |
| FlachS1_8           | 11:44:38 | 2.860            | 9.533                     | 288  | 2,51 | 0,53  | 0,012 | 711,0             | 707,1             | 53,79             | 54,386            | 55,75 | 56,37 | 35,9              | 35,6               | 72               | 95               | 84               |
| FlachS1_11          | 14:42:12 | 1.230            | 4.100                     | 211  | 4,50 | 0,60  | 0,013 | 390,5             | 388,8             | 25,65             | 26,344            | 35,11 | 36,07 | 39,8              | 39,3               | 517              | 90               | 304              |
| FlachS1_12          | 15:46:34 | 1.190            | 3.967                     | 125  | 4,64 | 0,45  | 0,009 | 346,8             | 345,2             | 20,09             | 20,620            | 29,32 | 30,10 | 38,7              | 38,2               | 1183             | 91               | 637              |
| FlachS1_13          | 16:44:37 | 1.790            | 5.967                     | 78,4 | 4,15 | 0,46  | 0,010 | 367,8             | 365,4             | 21,54             | 22,074            | 33,05 | 33,87 | 37,7              | 37,2               | 81               | 100              | 91               |
| MittelS1_1          | 5:06:57  | -1.380           | -4.600                    | 524  | 0,16 | 0,25  | 0,167 | 510,0             | 511,5             | 19,34             | 19,628            | 88,04 | 89,37 | 19,0              | 18,5               | 1                | 4                | 3                |
| MittelS1_2          | 6:12:35  | 0.949            | 3.163                     | 850  | 0,48 | 0,21  | 0,026 | 921,5             | 920,1             | 30,87             | 31,115            | 77,08 | 77,68 | 20,8              | 20,3               | 91               | 25               | 58               |
| MittelS1_3          | 6:55:14  | -0.314           | -1.047                    | 1010 | 0,66 | 0,26  | 0,021 | 1008,6            | 1008,6            | 31,75             | 32,045            | 72,24 | 72,92 | 22,3              | 21,9               | 26               | 149              | 88               |
| MittelS1_4          | 7:58:11  | -2.800           | -9.333                    | 938  | 0,96 | 0,49  | 0,03  | 807,7             | 810,5             | 40,85             | 41,415            | 69,87 | 70,83 | 27,1              | 26,6               | 37               | 250              | 144              |
| MittelS1_5          | 8:51:23  | 2.760            | 9.200                     | 384  | 1,46 | 0,21  | 0,009 | 938,0             | 934,4             | 47,33             | 47,576            | 64,91 | 65,25 | 30,9              | 30,5               | 51               | 53               | 52               |
| MittelS1_7          | 11:02:28 | -0.190           | -0.633                    | 704  | 3,14 | 0,51  | 0,009 | 734,7             | 734,4             | 48,66             | 49,241            | 45,55 | 46,10 | 37,7              | 36,6               | 62               | 106              | 84               |
| MittelS1_8          | 12:00:07 | 2.280            | 7.600                     | 288  | 2,97 | 0,46  | 0,009 | 749,5             | 746,3             | 53,49             | 54,008            | 50,32 | 50,81 | 37,6              | 37,0               | 576              | 100              | 338              |
| MittelS1_11         | 14:51:28 | 0.699            | 2.330                     | 296  | 4,45 | 0,54  | 0,011 | 420,3             | 419,2             | 24,98             | 25,612            | 34,14 | 35,00 | 39,9              | 39,0               | 103              | 75               | 89               |
| MittelS1_12         | 16:03:49 | 0.840            | 2.800                     | 182  | 4,62 | 0,40  | 0,008 | 366,2             | 365,0             | 20,01             | 20,477            | 28,98 | 29,66 | 38,8              | 38,1               | 45               | 56               | 51               |
| MittelS1_13         | 16:56:55 | 1.490            | 4.967                     | 154  | 3,99 | 0,45  | 0,010 | 383,6             | 382,0             | 21,92             | 22,461            | 33,78 | 34,61 | 37,6              | 36,8               | 322              | 46               | 184              |
| TiefS1_1            | 5:23:04  | -1.640           | -5.467                    | 513  | 0,29 | 0,24  | 0,083 | 481,2             | 483,0             | 18,51             | 18,790            | 82,35 | 83,62 | 19,4              | 18,8               | 13               | 10               | 12               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS1_2            | 6:09:51  | -0.249           | -0.830                    | 979  | 0,46 | 0,20  | 0,026 | 975,3             | 975,4             | 30,56             | 30,785            | 77,28 | 77,86 | 20,6              | 20,0               | 28               | 37               | 33               |
| TiefS1_3            | 6:58:53  | -0.949           | -3.163                    | 1030 | 0,69 | 0,31  | 0,027 | 989,3             | 990,1             | 32,64             | 32,997            | 72,08 | 72,87 | 22,8              | 22,4               | 80               | 48               | 64               |
| TiefS1_4            | 8:00:58  | -2.300           | -7.667                    | 874  | 0,87 | 0,56  | 0,038 | 794,1             | 796,3             | 43,42             | 44,073            | 72,71 | 73,79 | 27,4              | 27,0               | 67               | 69               | 68               |
| TiefS1_7            | 11:07:47 | 0.829            | 2.763                     | 518  | 3,00 | 0,51  | 0,010 | 709,7             | 708,2             | 50,38             | 50,951            | 48,29 | 48,84 | 37,3              | 36,5               | 548              | 102              | 325              |
| TiefS1_8            | 12:05:58 | 2.800            | 9.333                     | 242  | 2,90 | 0,48  | 0,009 | 766,1             | 762,4             | 54,01             | 54,553            | 50,34 | 50,85 | 37,8              | 36,9               | 170              | 134              | 152              |
| TiefS1_10           | 14:01:59 | 0.519            | 1.730                     | 251  | 4,83 | 0,53  | 0,010 | 355,2             | 354,3             | 24,37             | 24,987            | 31,85 | 32,66 | 40,7              | 39,8               | 118              | 142              | 130              |
| TiefS1_11           | 14:54:57 | 0.560            | 1.867                     | 355  | 4,66 | 0,52  | 0,011 | 472,3             | 471,3             | 24,07             | 24,677            | 32,92 | 33,75 | 39,9              | 39,3               | 111              | 420              | 266              |
| TiefS1_12           | 16:08:24 | 0.579            | 1.930                     | 218  | 4,79 | 0,41  | 0,008 | 353,3             | 352,4             | 20,80             | 21,281            | 29,89 | 30,58 | 38,9              | 38,8               | 94               | 1010             | 552              |
| TiefS1_13           | 17:00:59 | 0.400            | 1.333                     | 253  | 4,28 | 0,40  | 0,009 | 346,8             | 346,1             | 20,53             | 20,993            | 31,75 | 32,47 | 37,6              | 37,3               | 85               | 1001             | 543              |
| FlachS2_1           | 5:02:30  | -1.330           | -4.433                    | 499  | 0,22 | 0,35  | 0,170 | 486,0             | 487,3             | 18,39             | 18,804            | 84,62 | 86,54 | 18,9              | 18,3               | 2                | 7                | 5                |
| FlachS2_2           | 5:56:58  | 1.150            | 3.833                     | 771  | 0,65 | 0,11  | 0,011 | 956,4             | 954,9             | 25,39             | 25,532            | 67,96 | 68,33 | 19,6              | 19,1               | 11               | 29               | 20               |
| FlachS2_3           | 6:47:21  | 1.890            | 6.300                     | 711  | 0,68 | 0,23  | 0,020 | 879,0             | 876,4             | 29,86             | 30,128            | 71,53 | 72,17 | 21,4              | 21,2               | 28               | 121              | 75               |
| FlachS2_4           | 7:43:41  | -3.980           | -13.267                   | 1060 | 1,07 | 0,47  | 0,026 | 834,6             | 838,9             | 37,36             | 37,900            | 67,51 | 68,48 | 26,1              | 26,1               | 35               | 90               | 63               |
| FlachS2_5           | 8:44:37  | 2.280            | 7.600                     | 300  | 1,68 | 0,25  | 0,009 | 748,4             | 745,4             | 40,55             | 40,835            | 58,20 | 58,61 | 30,1              | 29,7               | 32               | 223              | 128              |
| FlachS2_7           | 10:47:28 | 1.410            | 4.700                     | 526  | 2,88 | 0,62  | 0,012 | 764,4             | 762,1             | 52,10             | 52,809            | 51,25 | 51,95 | 36,8              | 36,5               | 43               | 1082             | 563              |
| FlachS2_8           | 11:49:25 | 2.110            | 7.033                     | 260  | 2,81 | 0,41  | 0,008 | 702,5             | 699,6             | 51,10             | 51,572            | 51,95 | 52,43 | 36,2              | 36,0               | 55               | 568              | 312              |
| FlachS2_11          | 14:44:21 | 1.310            | 4.367                     | 202  | 4,57 | 0,55  | 0,011 | 408,1             | 406,3             | 24,31             | 24,954            | 33,42 | 34,31 | 39,8              | 39,2               | 60               | 81               | 71               |
| FlachS2_12          | 15:51:42 | 0.654            | 2.180                     | 202  | 4,54 | 0,44  | 0,009 | 336,7             | 335,8             | 21,39             | 21,904            | 30,78 | 31,52 | 38,9              | 38,2               | 72               | 64               | 68               |
| FlachS2_13          | 16:46:31 | 1.290            | 4.300                     | 137  | 4,22 | 0,44  | 0,010 | 363,8             | 362,1             | 20,93             | 21,439            | 31,96 | 32,74 | 37,8              | 37,2               | 55               | 56               | 56               |
| Mittels2_1          | 5:18:48  | -1.440           | -4.800                    | 528  | 0,30 | 0,21  | 0,071 | 495,2             | 496,8             | 18,20             | 18,451            | 81,72 | 82,84 | 19,3              | 18,7               | 3                | 11               | 7                |
| Mittels2_2          | 6:00:48  | 1.320            | 4.400                     | 868  | 0,60 | 0,19  | 0,019 | 995,1             | 993,3             | 26,79             | 27,009            | 70,60 | 71,19 | 19,9              | 19,4               | 4                | 16               | 10               |
| Mittels2_3          | 6:51:56  | 0.694            | 2.313                     | 853  | 0,61 | 0,29  | 0,029 | 907,9             | 906,8             | 31,46             | 31,803            | 72,99 | 73,78 | 22,0              | 21,5               | 3                | 40               | 22               |
| Mittels2_4          | 7:54:52  | -1.810           | -6.033                    | 864  | 1,46 | 0,32  | 0,013 | 669,6             | 671,5             | 31,38             | 31,758            | 54,78 | 55,43 | 26,7              | 26,2               | 4                | 58               | 31               |
| Mittels2_5          | 8:48:33  | 2.460            | 8.200                     | 334  | 1,49 | 0,22  | 0,008 | 831,1             | 828,0             | 44,60             | 44,850            | 62,56 | 62,90 | 30,5              | 29,9               | 13               | 280              | 147              |
| Mittels2_7          | 10:55:30 | 2.350            | 7.833                     | 260  | 3,61 | 0,52  | 0,008 | 775,0             | 771,7             | 49,41             | 50,008            | 46,21 | 46,77 | 37,8              | 38,1               | 30               | 783              | 407              |
| Mittels2_8          | 11:54:33 | 1.840            | 6.133                     | 412  | 2,86 | 0,50  | 0,010 | 761,2             | 758,5             | 55,51             | 56,073            | 53,66 | 54,21 | 37,1              | 37,0               | 53               | 865              | 459              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS2_11         | 14:48:19 | 0.885            | 2.950                     | 246  | 4,72 | 0,53  | 0,010 | 405,1             | 403,8             | 24,00             | 24,622            | 32,92 | 33,77 | 39,8              | 39,5               | 41               | 368              | 205              |
| MittelS2_12         | 16:00:23 | 1.100            | 3.667                     | 160  | 4,59 | 0,43  | 0,009 | 377,8             | 376,3             | 20,58             | 21,083            | 29,77 | 30,50 | 38,8              | 38,2               | 57               | 50               | 54               |
| MittelS2_13         | 16:51:11 | 1.310            | 4.367                     | 134  | 4,22 | 0,43  | 0,010 | 369,0             | 367,2             | 20,55             | 21,050            | 31,35 | 32,11 | 37,8              | 37,1               | 26               | 58               | 42               |
| TiefS2_1            | 5:27:09  | -1.770           | -5.900                    | 525  | 0,32 | 0,26  | 0,083 | 490,5             | 492,5             | 18,42             | 18,731            | 81,29 | 82,65 | 19,5              | 19,0               | 11               | 15               | 13               |
| TiefS2_2            | 6:12:35  | 0.949            | 3.163                     | 850  | 0,48 | 0,21  | 0,026 | 921,5             | 920,1             | 30,87             | 31,115            | 77,08 | 77,68 | 20,8              | 20,3               | 91               | 25               | 58               |
| TiefS2_3            | 7:02:29  | -0.375           | -1.250                    | 966  | 0,70 | 0,34  | 0,029 | 963,2             | 963,3             | 33,93             | 34,318            | 72,77 | 73,60 | 23,3              | 22,9               | 529              | 40               | 285              |
| TiefS2_4            | 8:04:51  | 2.410            | 8.033                     | 201  | 1,12 | 0,13  | 0,007 | 785,8             | 782,8             | 40,28             | 40,431            | 66,23 | 66,48 | 27,7              | 27,1               | 49               | 62               | 56               |
| TiefS2_5            | 8:58:08  | 2.080            | 6.933                     | 245  | 1,70 | 0,22  | 0,008 | 724,5             | 721,8             | 43,42             | 43,672            | 58,41 | 58,75 | 31,2              | 30,5               | 817              | 21               | 419              |
| TiefS2_6            | 10:15:41 | 1.530            | 5.100                     | 43,9 | 3,34 | 0,26  | 0,008 | 378,0             | 376,1             | 24,07             | 24,383            | 39,74 | 40,26 | 36,4              | 35,5               | 283              | 108              | 196              |
| TiefS2_7            | 11:13:07 | 1.070            | 3.567                     | 519  | 2,93 | 0,50  | 0,010 | 750,5             | 748,8             | 51,68             | 52,247            | 49,20 | 49,74 | 37,4              | 36,5               | 754              | 97               | 426              |
| TiefS2_8            | 12:10:33 | 0.314            | 1.047                     | 604  | 2,95 | 0,48  | 0,009 | 714,2             | 713,4             | 53,62             | 54,164            | 50,03 | 50,54 | 37,8              | 36,9               | 852              | 128              | 490              |
| TiefS2_10           | 14:05:06 | 0.138            | 0.460                     | 324  | 4,84 | 0,51  | 0,010 | 374,1             | 373,7             | 24,37             | 24,972            | 31,85 | 32,64 | 40,7              | 39,8               | 124              | 107              | 116              |
| TiefS2_11           | 14:57:52 | 0.710            | 2.367                     | 257  | 4,61 | 0,52  | 0,010 | 388,4             | 387,3             | 24,08             | 24,685            | 32,86 | 33,69 | 39,9              | 39,2               | 76               | 299              | 188              |
| TiefS2_12           | 16:13:10 | 0.584            | 1.947                     | 257  | 4,80 | 0,40  | 0,008 | 400,9             | 400,0             | 19,90             | 20,374            | 28,25 | 28,92 | 39,2              | 38,5               | 70               | 993              | 532              |
| TiefS2_13           | 17:05:42 | 0.301            | 1.003                     | 266  | 4,56 | 0,40  | 0,009 | 346,6             | 346,1             | 20,15             | 20,625            | 30,22 | 30,93 | 38,1              | 37,9               | 64               | 744              | 404              |

**Tabelle A IV:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo am 5.08.2003 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonendichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonendichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit    | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g      | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|---------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_2           | 5:47:37 | -0,869           | -3,260                    | 447 | 0,38 | 0,23  | 0,061  | 425,2             | 426,1             | 22,93             | 23,19             | 80,21 | 81,14 | 23,5              | 22,5               | 14               | 20               | 17               |
| FlachS1_3           | 6:43:54 | 0,169            | 0,630                     | 432 | 0,38 | 0,00  | -0,090 | 431,8             | 431,8             | 25,67             | 25,25             | 84,21 | 82,83 | 24,5              | 23,7               | 40               | 47               | 44               |
| FlachS1_4           | 7:48:57 | 0,073            | 0,270                     | 383 | 0,95 | 0,25  | 0,026  | 394,0             | 393,8             | 27,79             | 28,09             | 71,43 | 72,18 | 28,7              | 28,0               | 55               | 72               | 64               |
| FlachS1_5           | 8:45:50 | 0,718            | 2,690                     | 358 | 1,53 | 1,86  | 0,124  | 378,6             | 376,9             | 30,71             | 32,86             | 61,12 | 65,4  | 33,2              | 32,3               | 82               | 83               | 83               |
| FlachS1_6           | 9:47:43 | 2,770            | 10,39                     | 326 | 2,18 | 2,25  | 0,104  | 387,4             | 383,0             | 33,51             | 36,11             | 54,86 | 59,12 | 36,7              | 35,6               | 569              | 88               | 329              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_7           | 10:51:26 | 4,000            | 15,00                     | 427  | 2,72 | 1,23  | 0,026 | 728,7             | 722,9             | 55,58             | 56,97             | 50,99 | 52,26 | 38,1              | 36,8               | 800              | 111              | 456              |
| FlachS1_8           | 11:51:12 | 0,631            | 2,370                     | 282  | 3,82 | 0,69  | 0,018 | 360,9             | 359,8             | 25,43             | 26,23             | 37,67 | 38,87 | 38,5              | 37,5               | 776              | 111              | 444              |
| FlachS1_9           | 12:45:31 | -0,985           | -3,690                    | 493  | 3,90 | 0,48  | 0,012 | 388,5             | 389,5             | 24,47             | 25,03             | 35,88 | 36,71 | 38,7              | 37,4               | 84               | 78               | 81               |
| FlachS1_10          | 13:48:47 | 2,210            | 8,290                     | 574  | 2,55 | 1,73  | 0,039 | 715,9             | 711,7             | 55,77             | 57,73             | 54,14 | 56,04 | 37,1              | 36,4               | 478              | 119              | 299              |
| FlachS1_11          | 14:54:06 | 0,305            | 1,140                     | 318  | 4,56 | 0,68  | 0,014 | 379,2             | 378,5             | 26,31             | 27,10             | 34,57 | 35,61 | 40,7              | 39,7               | 64               | 118              | 91               |
| FlachS1_12          | 15:49:48 | -0,970           | -3,640                    | 421  | 4,81 | 0,63  | 0,013 | 327,8             | 328,7             | 25,77             | 26,51             | 32,85 | 33,79 | 41,3              | 40,2               | 81               | 151              | 116              |
| FlachS1_13          | 16:52:27 | 0,973            | 3,650                     | 195  | 3,98 | 0,44  | 0,011 | 361,4             | 360,1             | 25,23             | 25,74             | 36,97 | 37,72 | 38,7              | 37,8               | 53               | 1090             | 572              |
| FlachS1_14          | 17:47:49 | -0,063           | -0,240                    | 301  | 3,15 | 0,72  | 0,022 | 312,3             | 312,2             | 23,48             | 24,32             | 40,51 | 41,96 | 35,7              | 34,9               | 17               | 971              | 494              |
| FlachS1_15          | 18:41:37 | -1,290           | -4,840                    | 538  | 2,85 | 0,29  | 0,010 | 351,2             | 352,7             | 23,30             | 23,64             | 42,85 | 43,48 | 34,5              | 33,7               | 28               | 148              | 88               |
| MittelS1_2          | 5:50:49  | 0,798            | 2,660                     | 294  | 0,34 | 0,03  | 0,010 | 425,4             | 424,5             | 23,83             | 23,87             | 82,79 | 82,93 | 23,6              | 22,7               | 10               | 63               | 37               |
| MittelS1_3          | 6:47:57  | 0,875            | 2,920                     | 490  | 0,41 | 0,00  | 0,000 | 442,6             | 441,6             | 25,62             | 25,49             | 82,37 | 81,95 | 24,9              | 24,0               | 24               | 240              | 132              |
| MittelS1_4          | 7:55:44  | 1,730            | 5,770                     | 276  | 1,11 | 0,24  | 0,021 | 415,8             | 413,6             | 27,42             | 27,70             | 68,72 | 69,42 | 29,1              | 28,6               | 43               | 443              | 243              |
| MittelS1_6          | 9:50:26  | 0,057            | 0,190                     | 351  | 2,45 | 1,16  | 0,047 | 368,3             | 367,7             | 34,84             | 36,18             | 56,64 | 58,82 | 36,8              | 36,5               | 51               | 1197             | 624              |
| MittelS1_7          | 11:00:33 | 1,890            | 6,300                     | 532  | 3,02 | 1,77  | 0,033 | 679,2             | 675,5             | 59,20             | 61,20             | 52,74 | 54,51 | 38,6              | 38,3               | 42               | 668              | 355              |
| MittelS1_8          | 11:53:52 | -0,111           | -0,370                    | 338  | 3,85 | 0,67  | 0,017 | 349,0             | 348,9             | 25,94             | 26,73             | 37,88 | 39,03 | 38,8              | 37,7               | 53               | 269              | 161              |
| MittelS1_9          | 12:48:43 | -0,508           | -1,690                    | 427  | 3,93 | 0,32  | 0,008 | 349,4             | 349,9             | 24,79             | 25,17             | 36,3  | 36,85 | 38,7              | 37,5               | 82               | 87               | 85               |
| MittelS1_10         | 13:52:30 | -0,824           | -2,750                    | 682  | 2,53 | 1,78  | 0,040 | 698,8             | 698,3             | 56,56             | 58,57             | 53,58 | 55,49 | 37,5              | 36,5               | 278              | 127              | 203              |
| MittelS1_11         | 14:56:33 | -1,240           | -4,130                    | 478  | 4,49 | 0,68  | 0,015 | 372,3             | 373,5             | 25,81             | 26,60             | 33,86 | 34,9  | 40,8              | 39,4               | 147              | 52               | 100              |
| MittelS1_12         | 15:55:59 | -1,100           | -3,670                    | 433  | 4,86 | 0,64  | 0,013 | 324,5             | 325,5             | 23,87             | 24,62             | 30,59 | 31,55 | 41,2              | 39,9               | 109              | 77               | 93               |
| MittelS1_13         | 16:57:57 | -0,485           | -1,620                    | 370  | 3,84 | 0,52  | 0,013 | 332,8             | 333,1             | 24,01             | 24,61             | 35,6  | 36,5  | 38,5              | 37,1               | 82               | 32               | 57               |
| MittelS1_14         | 17:54:10 | -1,390           | -4,630                    | 407  | 2,12 | 1,28  | 0,060 | 382,1             | 383,2             | 32,65             | 34,14             | 54,72 | 57,2  | 36,2              | 34,8               | 205              | 49               | 127              |
| MittelS1_15         | 18:44:10 | -0,781           | -2,600                    | 487  | 2,71 | 0,29  | 0,011 | 387,2             | 388,0             | 23,52             | 23,87             | 43,92 | 44,57 | 34,3              | 33,3               | 268              | 44               | 156              |
| MittelS1_16         | 20:07:10 | -0,951           | -3,170                    | 56,6 | 0,87 | 0,00  | 0,000 | 445,5             | 446,6             | 27,61             | 27,57             | 72,79 | 72,68 | 28,2              | 27,4               | 4                | 16               | 10               |
| TiefS1_3            | 6:56:37  | -1,740           | -6,140                    | 294  | 0,46 | 0,00  | 0,000 | 419,5             | 421,6             | 26,45             | 26,33             | 81,17 | 80,79 | 25,7              | 24,7               | 23               | 38               | 31               |
| TiefS1_4            | 8:04:22  | -3,700           | -13,06                    | 569  | 1,00 | 0,33  | 0,033 | 389,3             | 393,6             | 30,77             | 31,15             | 71,75 | 72,65 | 30,4              | 29,6               | 39               | 47               | 43               |
| TiefS1_5            | 9:04:45  | -1,340           | -4,730                    | 373  | 1,72 | 2,72  | 0,163 | 369,1             | 369,5             | 34,52             | 37,66             | 59,93 | 65,4  | 35,6              | 34,6               | 61               | 66               | 64               |

| <b>Stängel/<br/>Messung</b> | <b>Zeit</b> | <b>Jco<sub>2</sub></b> | <b>Jco<sub>2</sub><br/>Blatt</b> | <b>Ci</b> | <b>VpdL</b> | <b>Trans</b> | <b>g</b> | <b>CO<sub>2</sub>R</b> | <b>CO<sub>2</sub>S</b> | <b>H<sub>2</sub>OR</b> | <b>H<sub>2</sub>OS</b> | <b>RH_R</b> | <b>RH_S</b> | <b>T<sub>Luft</sub></b> | <b>T<sub>Blatt</sub></b> | <b>PFD<sub>i</sub></b> | <b>PFD<sub>o</sub></b> | <b>PFD<sub>m</sub></b> |
|-----------------------------|-------------|------------------------|----------------------------------|-----------|-------------|--------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| TiefS1_6                    | 9:53:32     | 2,340                  | 8,260                            | 283       | 2,46        | 0,93         | 0,037    | 402,3                  | 399,0                  | 33,25                  | 34,33                  | 53,76       | 55,51       | 36,9                    | 35,9                     | 57                     | 107                    | 82                     |
| TiefS1_8                    | 11:58:51    | 0,468                  | 1,650                            | 286       | 4,09        | 1,09         | 0,026    | 336,6                  | 335,6                  | 26,31                  | 27,59                  | 37,03       | 38,82       | 39,5                    | 38,6                     | 52                     | 996                    | 524                    |
| TiefS1_9                    | 12:51:49    | 1,010                  | 3,560                            | 277       | 4,07        | 0,98         | 0,024    | 369,2                  | 367,5                  | 25,60                  | 26,75                  | 37,05       | 38,71       | 38,9                    | 38,3                     | 62                     | 1026                   | 544                    |
| TiefS1_10                   | 13:56:59    | -0,239                 | -0,840                           | 652       | 2,92        | 1,60         | 0,031    | 695,8                  | 694,8                  | 55,70                  | 57,51                  | 51,39       | 53,06       | 38,0                    | 37,4                     | 56                     | 1112                   | 584                    |
| TiefS1_11                   | 15:01:12    | -1,630                 | -5,750                           | 580       | 4,42        | 0,59         | 0,013    | 413,7                  | 415,3                  | 27,38                  | 28,08                  | 36,14       | 37,06       | 40,6                    | 39,6                     | 40                     | 436                    | 238                    |
| TiefS1_12                   | 16:00:17    | -0,204                 | -0,720                           | 346       | 4,65        | 0,69         | 0,014    | 350,2                  | 350,2                  | 23,86                  | 24,66                  | 31,38       | 32,43       | 40,7                    | 39,3                     | 50                     | 98                     | 74                     |
| TiefS1_13                   | 17:04:12    | -2,670                 | -9,420                           | 1160      | 3,39        | 0,17         | 0,005    | 336,2                  | 339,3                  | 25,73                  | 25,93                  | 40,32       | 40,64       | 37,4                    | 36,1                     | 27                     | 55                     | 41                     |
| TiefS1_14                   | 17:57:32    | -0,075                 | -0,260                           | 378       | 2,98        | 0,61         | 0,020    | 390,8                  | 390,6                  | 24,95                  | 25,66                  | 42,07       | 43,27       | 36,1                    | 34,8                     | 21                     | 57                     | 39                     |
| TiefS1_15                   | 18:47:08    | 0,073                  | 0,260                            | 328       | 2,54        | 0,12         | 0,005    | 368,1                  | 368,0                  | 24,60                  | 24,73                  | 46,92       | 47,18       | 33,9                    | 33,0                     | 19                     | 33                     | 26                     |
| FlachS2_1                   | 4:42:00     | -0,975                 | -3,250                           | 343       | 0,49        | 0,00         | 0,012    | 473,7                  | 474,9                  | 21,84                  | 21,77                  | 77,6        | 77,35       | 23,2                    | 22,3                     | 0                      | 1                      | 0,5                    |
| FlachS2_2                   | 5:42:36     | -0,023                 | -0,080                           | 419       | 0,36        | 0,15         | 0,041    | 420,5                  | 420,4                  | 23,44                  | 23,61                  | 82,32       | 82,91       | 23,4                    | 22,6                     | 16                     | 7                      | 12                     |
| FlachS2_3                   | 6:35:42     | -4,740                 | -15,80                           | 548       | 0,33        | 0,21         | 0,065    | 425,1                  | 430,7                  | 24,60                  | 24,85                  | 83,79       | 84,62       | 23,9                    | 23,2                     | 13                     | 163                    | 88                     |
| FlachS2_5                   | 8:34:08     | 0,216                  | 0,720                            | 379       | 1,74        | 0,00         | -0,026   | 376,2                  | 376,1                  | 32,59                  | 32,05                  | 65,54       | 64,46       | 33,0                    | 32,8                     | 53                     | 918                    | 486                    |
| FlachS2_6                   | 9:39:03     | 0,857                  | 2,860                            | 340       | 2,76        | 2,93         | 0,106    | 371,4                  | 369,1                  | 33,51                  | 36,90                  | 52,9        | 58,25       | 37,3                    | 37,6                     | 57                     | 1049                   | 553                    |
| FlachS2_7                   | 10:37:06    | -1,320                 | -4,400                           | 776       | 3,20        | 0,81         | 0,014    | 693,5                  | 694,4                  | 59,47                  | 60,38                  | 51,11       | 51,9        | 39,3                    | 38,7                     | 61                     | 626                    | 344                    |
| FlachS2_8                   | 12:39:04    | -0,574                 | -1,910                           | 404       | 4,03        | 0,48         | 0,012    | 349,1                  | 349,6                  | 23,44                  | 24,01                  | 34,79       | 35,63       | 38,5                    | 37,5                     | 61                     | 124                    | 93                     |
| FlachS2_9                   | 13:35:52    | 4,120                  | 13,73                            | 455       | 2,13        | 1,60         | 0,043    | 648,0                  | 641,8                  | 56,16                  | 57,97                  | 59,05       | 60,95       | 35,6                    | 35,1                     | 170                    | 63                     | 117                    |
| FlachS2_10                  | 14:46:36    | 1,510                  | 5,030                            | 147       | 4,28        | 0,48         | 0,011    | 391,0                  | 389,0                  | 28,48                  | 29,04                  | 38,26       | 39,01       | 40,3                    | 39,5                     | 597                    | 87                     | 342                    |
| FlachS2_11                  | 15:41:20    | 0,373                  | 1,240                            | 249       | 4,62        | 0,68         | 0,014    | 313,2                  | 312,5                  | 26,14                  | 26,93                  | 34,51       | 35,56       | 40,6                    | 39,8                     | 840                    | 81                     | 461                    |
| FlachS2_12                  | 16:39:34    | 1,080                  | 3,600                            | 210       | 4,01        | 0,71         | 0,017    | 330,2                  | 328,6                  | 26,31                  | 27,14                  | 37,71       | 38,91       | 39,1                    | 38,3                     | 1058                   | 90                     | 574                    |
| FlachS2_14                  | 18:35:05    | -0,160                 | -0,530                           | 708       | 3,03        | 0,02         | 0,001    | 371,8                  | 372,0                  | 24,44                  | 24,46                  | 43,55       | 43,6        | 35,1                    | 34,5                     | 344                    | 41                     | 193                    |
| FlachS2_15                  | 19:41:43    | 1,050                  | 3,500                            | 263       | 1,04        | 0,18         | 0,017    | 369,6                  | 368,2                  | 27,07                  | 27,27                  | 69,27       | 69,8        | 28,7                    | 28,0                     | 24                     | 22                     | 23                     |
| Mittels2_4                  | 7:44:07     | 1,260                  | 4,200                            | 196       | 0,75        | 0,07         | 0,010    | 410,4                  | 408,9                  | 28,93                  | 29,02                  | 76,13       | 76,35       | 28,3                    | 27,5                     | 61                     | 32                     | 47                     |
| Mittels2_5                  | 8:40:08     | -1,490                 | -4,970                           | 412       | 1,46        | 0,69         | 0,047    | 368,6                  | 370,0                  | 31,78                  | 32,58                  | 64,1        | 65,71       | 32,9                    | 32,0                     | 82                     | 50                     | 66                     |
| Mittels2_6                  | 9:43:21     | -0,648                 | -2,160                           | 362       | 2,31        | 2,04         | 0,089    | 364,1                  | 364,0                  | 33,85                  | 36,21                  | 54,07       | 57,84       | 37,1                    | 36,0                     | 234                    | 82                     | 158                    |
| Mittels2_7                  | 10:41:19    | 2,730                  | 9,100                            | 529       | 2,97        | 1,70         | 0,033    | 721,0                  | 716,2                  | 55,79                  | 57,71                  | 48,86       | 50,54       | 39,0                    | 37,6                     | 210                    | 82                     | 146                    |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS2_8          | 11:48:02 | 0,518            | 1,730                     | 299  | 3,54 | 0,73  | 0,020 | 360,6             | 359,7             | 27,37             | 28,22             | 41,06 | 42,33 | 38,3              | 37,3               | 78               | 96               | 87               |
| MittelS2_9          | 12:41:25 | -0,652           | -2,170                    | 428  | 4,02 | 0,46  | 0,011 | 360,7             | 361,2             | 23,07             | 23,62             | 34,49 | 35,31 | 38,3              | 37,3               | 63               | 100              | 82               |
| MittelS2_10         | 13:40:54 | 0,719            | 2,400                     | 662  | 2,09 | 2,12  | 0,059 | 724,8             | 722,1             | 58,49             | 60,88             | 59,92 | 62,38 | 36,1              | 35,6               | 44               | 105              | 75               |
| MittelS2_11         | 14:50:42 | -1,240           | -4,130                    | 408  | 4,22 | 1,43  | 0,033 | 373,4             | 374,3             | 28,37             | 30,03             | 37,64 | 39,84 | 40,6              | 39,6               | 40               | 325              | 183              |
| MittelS2_12         | 15:45:34 | 0,185            | 0,620                     | 301  | 4,65 | 1,39  | 0,029 | 337,1             | 336,3             | 25,71             | 27,34             | 33,42 | 35,53 | 40,9              | 40,0               | 47               | 136              | 92               |
| MittelS2_13         | 16:45:34 | 1,830            | 6,100                     | 235  | 3,91 | 1,01  | 0,025 | 374,7             | 372,0             | 25,09             | 26,27             | 36,07 | 37,77 | 39,0              | 37,7               | 17               | 123              | 70               |
| MittelS2_14         | 17:45:28 | 2,540            | 8,470                     | 129  | 2,89 | 0,61  | 0,021 | 340,2             | 336,9             | 25,45             | 26,17             | 44,37 | 45,62 | 35,5              | 34,6               | 30               | 821              | 426              |
| MittelS2_15         | 18:38:25 | -3,160           | -10,53                    | 859  | 2,82 | 0,30  | 0,010 | 391,1             | 394,8             | 25,19             | 25,54             | 45,49 | 46,12 | 34,9              | 34,2               | 21               | 116              | 69               |
| MittelS2_16         | 19:46:39 | -0,874           | -2,910                    | 20,5 | 0,97 | 0,00  | 0,000 | 396,7             | 397,7             | 27,79             | 27,75             | 71,48 | 71,37 | 28,6              | 27,9               | 5                | 34               | 20               |
| 0MittelS2_1         | 20:02:14 | -0,518           | -1,730                    | 362  | 0,91 | 0,00  | 0,000 | 467,6             | 468,3             | 27,64             | 27,55             | 72,17 | 71,93 | 28,4              | 27,6               | 5                | 18               | 12               |
| TiefS2_1            | 5:17:27  | -2,560           | -9,600                    | 559  | 0,44 | 0,13  | 0,030 | 421,7             | 424,7             | 23,65             | 23,81             | 78,67 | 79,19 | 24,3              | 23,2               | 4                | 5                | 5                |
| TiefS2_2            | 6:01:49  | -5,700           | -21,38                    | 560  | 0,42 | 0,28  | 0,067 | 418,3             | 424,9             | 23,72             | 24,04             | 79,39 | 80,49 | 24,2              | 23,2               | 11               | 20               | 16               |
| TiefS2_4            | 8:08:59  | -0,674           | -2,530                    | 426  | 1,17 | 0,33  | 0,028 | 393,4             | 394,1             | 29,74             | 30,12             | 67,25 | 68,11 | 30,9              | 29,9               | 32               | 174              | 103              |
| TiefS2_5            | 9:09:20  | -4,820           | -18,08                    | 463  | 2,14 | 1,80  | 0,084 | 378,1             | 383,1             | 32,29             | 34,38             | 54,76 | 58,3  | 36,0              | 34,9               | 51               | 723              | 387              |
| TiefS2_6            | 9:59:35  | -1,220           | -4,580                    | 401  | 2,28 | 1,24  | 0,054 | 378,2             | 379,1             | 32,62             | 34,06             | 53,86 | 56,24 | 36,5              | 35,3               | 49               | 152              | 101              |
| TiefS2_8            | 12:01:50 | 0,242            | 0,910                     | 299  | 4,31 | 1,08  | 0,025 | 338,9             | 338,1             | 25,97             | 27,24             | 35,72 | 37,46 | 39,9              | 39,1               | 62               | 583              | 323              |
| TiefS2_9            | 12:54:11 | 1,320            | 4,950                     | 233  | 4,01 | 0,98  | 0,024 | 343,3             | 341,4             | 25,56             | 26,70             | 36,12 | 37,74 | 39,4              | 38,2               | 36               | 86               | 61               |
| TiefS2_10           | 14:01:49 | -1,900           | -7,130                    | 756  | 2,77 | 0,79  | 0,016 | 618,7             | 620,4             | 60,97             | 61,86             | 53,73 | 54,52 | 38,8              | 37,8               | 47               | 126              | 87               |
| TiefS2_11           | 15:03:39 | -1,290           | -4,840                    | 485  | 4,44 | 0,62  | 0,013 | 360,7             | 362,0             | 26,78             | 27,50             | 35,32 | 36,27 | 40,7              | 39,5               | 50               | 214              | 132              |
| TiefS2_12           | 16:03:07 | 0,056            | 0,210                     | 303  | 4,57 | 0,68  | 0,014 | 333,5             | 333,1             | 24,87             | 25,66             | 32,86 | 33,91 | 40,6              | 39,4               | 493              | 98               | 296              |
| TiefS2_13           | 18:01:26 | 0,015            | 0,050                     | 308  | 2,97 | 0,05  | 0,002 | 338,9             | 338,9             | 25,33             | 25,39             | 43,06 | 43,15 | 36,0              | 34,7               | 206              | 29               | 118              |
| TiefS2_14           | 18:49:52 | -0,136           | -0,510                    | 408  | 2,30 | 0,16  | 0,007 | 390,4             | 390,5             | 26,23             | 26,42             | 50,50 | 50,86 | 33,7              | 32,7               | 27               | 35               | 31               |

**Tabelle A V:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo am 12.08.2003 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 5:19:41  | -1,690           | -7,800                    | 570 | 0,55 | 0,12  | 0,022 | 448,9             | 450,9             | 17,97             | 18,11             | 71,43 | 72,00 | 21,2              | 20,2               | 2                | 4                | 3                |
| FlachS1_2           | 6:16:40  | -0,819           | -3,780                    | 446 | 0,26 | 0,07  | 0,027 | 398,0             | 399,0             | 19,71             | 19,79             | 84,22 | 84,57 | 20,1              | 19,3               | 16               | 12               | 14               |
| FlachS1_3           | 7:19:01  | -0,319           | -1,472                    | 388 | 0,39 | 0,26  | 0,067 | 382,1             | 382,4             | 20,00             | 20,30             | 78,54 | 79,72 | 21,4              | 20,6               | 42               | 72               | 57               |
| FlachS1_4           | 8:24:15  | -0,092           | -0,423                    | 362 | 1,06 | 0,19  | 0,018 | 360,1             | 360,2             | 20,09             | 20,32             | 62,34 | 63,03 | 25,3              | 24,6               | 87               | 108              | 98               |
| FlachS1_5           | 9:20:32  | -0,470           | -2,169                    | 953 | 1,46 | 0,02  | 0,001 | 356,2             | 356,8             | 20,47             | 20,49             | 56,02 | 56,07 | 27,5              | 26,7               | 32               | 107              | 70               |
| FlachS1_6           | 10:17:00 | -0,964           | -4,449                    | 696 | 0,94 | 0,28  | 0,017 | 622,4             | 623,4             | 42,94             | 43,25             | 70,52 | 71,04 | 27,7              | 27,1               | 37               | 135              | 86               |
| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
| FlachS1_7           | 11:14:10 | -0,164           | -0,757                    | 352 | 2,01 | 0,12  | 0,006 | 318,1             | 318,2             | 18,91             | 19,05             | 45,96 | 46,31 | 29,5              | 28,6               | 50               | 187              | 119              |
| FlachS1_8           | 12:09:58 | -0,742           | -3,425                    | 539 | 2,07 | 0,11  | 0,005 | 329,7             | 330,5             | 19,96             | 20,09             | 46,90 | 47,21 | 30,1              | 29,3               | 68               | 198              | 133              |
| FlachS1_9           | 13:15:25 | 0,246            | 1,135                     | 282 | 2,88 | 0,53  | 0,018 | 318,6             | 318,1             | 20,71             | 21,33             | 39,06 | 40,23 | 34,0              | 32,9               | 69               | 172              | 121              |
| FlachS1_10          | 14:15:13 | -0,049           | -0,225                    | 321 | 2,58 | 0,54  | 0,020 | 330,7             | 330,6             | 20,92             | 21,55             | 42,81 | 44,10 | 32,5              | 31,9               | 79               | 258              | 169              |
| FlachS1_11          | 15:11:51 | -0,421           | -1,943                    | 352 | 2,79 | 0,61  | 0,021 | 335,5             | 335,7             | 21,79             | 22,51             | 41,60 | 42,97 | 33,7              | 33,0               | 52               | 435              | 244              |
| FlachS1_13          | 17:17:24 | 0,799            | 3,688                     | 186 | 3,26 | 0,35  | 0,010 | 325,2             | 324,1             | 22,27             | 22,68             | 42,26 | 43,04 | 33,8              | 34,7               | 40               | 649              | 345              |
| FlachS1_14          | 18:22:21 | -0,042           | -0,194                    | 346 | 1,84 | 0,04  | 0,002 | 322,6             | 322,6             | 23,29             | 23,33             | 53,95 | 54,06 | 30,3              | 29,7               | 12               | 158              | 85               |
| FlachS1_15          | 19:19:14 | -0,123           | -0,568                    | 657 | 0,94 | 0,01  | 0,001 | 360,0             | 360,1             | 23,66             | 23,67             | 68,52 | 68,54 | 26,4              | 25,7               | 4                | 60               | 32               |
| Mittels1_1          | 5:24:07  | -1,960           | -6,533                    | 574 | 0,51 | 0,12  | 0,023 | 440,3             | 442,6             | 18,17             | 18,31             | 72,82 | 73,39 | 21,1              | 20,1               | 2                | 5                | 4                |
| Mittels1_2          | 6:22:54  | -0,555           | -1,850                    | 418 | 0,28 | 0,21  | 0,077 | 407,3             | 407,9             | 19,62             | 19,87             | 81,63 | 82,67 | 20,5              | 19,5               | 9                | 26               | 18               |
| Mittels1_3          | 7:23:16  | -1,300           | -4,333                    | 422 | 0,56 | 0,30  | 0,054 | 384,8             | 386,2             | 19,58             | 19,93             | 74,10 | 75,44 | 22,0              | 21,5               | 33               | 551              | 292              |
| Mittels1_4          | 8:27:12  | -0,701           | -2,337                    | 422 | 1,15 | 0,18  | 0,015 | 354,7             | 355,5             | 19,79             | 20,00             | 60,44 | 61,08 | 25,6              | 24,9               | 20               | 271              | 146              |
| Mittels1_5          | 9:23:01  | 0,099            | 0,328                     | 315 | 1,45 | 0,29  | 0,020 | 330,7             | 330,5             | 20,20             | 20,54             | 55,12 | 56,05 | 27,5              | 26,7               | 35               | 94               | 65               |
| Mittels1_6          | 10:19:40 | -1,880           | -6,267                    | 788 | 1,00 | 0,27  | 0,016 | 615,2             | 617,3             | 41,39             | 41,70             | 68,00 | 68,51 | 27,7              | 26,9               | 44               | 27               | 36               |
| Mittels1_7          | 11:17:56 | -0,369           | -1,230                    | 428 | 1,92 | 0,10  | 0,005 | 326,5             | 326,9             | 19,11             | 19,23             | 47,30 | 47,60 | 29,2              | 28,3               | 68               | 166              | 117              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS1_8          | 12:12:24 | -1,130           | -3,767                    | 669  | 2,10 | 0,11  | 0,005 | 334,1             | 335,4             | 19,85             | 19,98             | 46,47 | 46,77 | 30,1              | 29,4               | 72               | 190              | 131              |
| MittelS1_9          | 13:20:30 | 0,015            | 0,050                     | 303  | 2,67 | 0,52  | 0,019 | 318,3             | 318,1             | 20,51             | 21,12             | 40,28 | 41,48 | 33,2              | 32,0               | 103              | 172              | 138              |
| MittelS1_10         | 14:20:20 | -0,104           | -0,347                    | 321  | 2,52 | 0,51  | 0,020 | 325,5             | 325,4             | 20,75             | 21,34             | 42,38 | 43,60 | 32,5              | 31,6               | 127              | 166              | 147              |
| MittelS1_11         | 15:17:52 | 0,717            | 2,390                     | 257  | 2,64 | 0,58  | 0,022 | 324,2             | 323,1             | 22,33             | 23,02             | 43,11 | 44,43 | 33,5              | 32,7               | 214              | 139              | 177              |
| MittelS1_13         | 17:21:13 | 0,502            | 1,673                     | 255  | 2,59 | 0,37  | 0,014 | 326,8             | 326,1             | 23,08             | 23,51             | 43,75 | 44,56 | 33,8              | 32,6               | 40               | 53               | 47               |
| MittelS1_14         | 18:26:59 | 0,337            | 1,123                     | 265  | 1,77 | 0,19  | 0,011 | 324,7             | 324,3             | 21,84             | 22,07             | 52,18 | 52,72 | 29,8              | 28,9               | 137              | 36               | 87               |
| MittelS1_15         | 19:23:14 | -0,187           | -0,623                    | 296  | 0,94 | 0,00  | 0,000 | 352,1             | 352,4             | 23,39             | 23,32             | 67,73 | 67,54 | 26,4              | 25,5               | 13               | 29               | 21               |
| TiefS1_1            | 5:28:52  | -0,652           | -1,956                    | 2110 | 0,49 | 0,00  | 0,001 | 431,4             | 432,2             | 18,50             | 18,50             | 74,43 | 74,44 | 21,0              | 20,0               | 3                | 5                | 4                |
| TiefS1_2            | 6:26:09  | -1,160           | -3,480                    | 426  | 0,32 | 0,17  | 0,052 | 390,2             | 391,5             | 19,63             | 19,83             | 80,80 | 81,60 | 20,7              | 19,8               | 16               | 21               | 19               |
| TiefS1_3            | 7:27:41  | 0,067            | 0,202                     | 365  | 0,58 | 0,43  | 0,074 | 370,2             | 369,9             | 19,71             | 20,22             | 71,24 | 73,07 | 22,8              | 21,8               | 70               | 78               | 74               |
| TiefS1_4            | 8:33:24  | -0,587           | -1,761                    | 410  | 1,18 | 0,25  | 0,021 | 371,2             | 371,8             | 20,38             | 20,68             | 60,28 | 61,14 | 26,1              | 25,4               | 65               | 153              | 109              |
| TiefS1_5            | 9:28:58  | -1,510           | -4,530                    | 550  | 1,53 | 0,17  | 0,011 | 337,3             | 339,0             | 19,99             | 20,19             | 54,02 | 54,56 | 27,7              | 26,9               | 52               | 138              | 95               |
| TiefS1_6            | 10:22:10 | -1,460           | -4,380                    | 759  | 0,94 | 0,25  | 0,016 | 624,7             | 626,2             | 42,46             | 42,75             | 69,96 | 70,43 | 27,7              | 26,9               | 55               | 118              | 87               |
| TiefS1_7            | 11:22:27 | -0,073           | -0,220                    | 352  | 1,96 | 0,11  | 0,005 | 342,1             | 342,1             | 19,36             | 19,48             | 47,50 | 47,82 | 29,3              | 28,6               | 74               | 278              | 176              |
| TiefS1_8            | 12:18:24 | 1,140            | 3,420                     | 198  | 1,96 | 0,31  | 0,016 | 324,4             | 322,9             | 20,31             | 20,68             | 47,78 | 48,64 | 30,1              | 29,1               | 76               | 171              | 124              |
| TiefS1_9            | 13:25:13 | 0,295            | 0,885                     | 277  | 2,58 | 0,53  | 0,020 | 313,6             | 313,1             | 21,09             | 21,71             | 42,11 | 43,35 | 32,9              | 32,0               | 77               | 287              | 182              |
| TiefS1_10           | 14:25:39 | 1,190            | 3,570                     | 226  | 2,65 | 0,48  | 0,018 | 348,3             | 346,7             | 20,09             | 20,65             | 40,44 | 41,57 | 32,8              | 31,8               | 109              | 286              | 198              |
| TiefS1_11           | 15:21:31 | 0,532            | 1,596                     | 252  | 2,82 | 0,33  | 0,011 | 342,9             | 342,2             | 22,59             | 22,97             | 42,49 | 43,21 | 34,0              | 33,3               | 84               | 468              | 276              |
| TiefS1_13           | 17:23:36 | 0,713            | 2,139                     | 253  | 2,48 | 0,36  | 0,014 | 346,7             | 345,7             | 23,19             | 23,61             | 44,94 | 45,75 | 33,5              | 32,3               | 30               | 111              | 71               |
| TiefS1_14           | 18:31:31 | -0,776           | -2,328                    | 919  | 1,66 | 0,04  | 0,002 | 348,2             | 349,1             | 22,51             | 22,55             | 54,53 | 54,63 | 29,5              | 28,6               | 22               | 56               | 39               |
| TiefS1_15           | 19:29:42 | -1,150           | -3,450                    | 597  | 0,97 | 0,08  | 0,008 | 368,2             | 369,5             | 22,60             | 22,70             | 65,48 | 65,74 | 26,4              | 25,4               | 9                | 27               | 18               |
| FlachS2_1           | 5:10:21  | -1,590           | -5,300                    | 506  | 0,64 | 0,45  | 0,070 | 472,2             | 473,8             | 17,80             | 18,33             | 68,35 | 70,36 | 21,8              | 20,9               | 1                | 3                | 2                |
| FlachS2_2           | 6:08:23  | -3,410           | -11,367                   | 515  | 0,24 | 0,23  | 0,096 | 454,7             | 458,7             | 19,09             | 19,35             | 84,21 | 85,39 | 19,5              | 18,9               | 9                | 30               | 20               |
| FlachS2_3           | 7:10:57  | -2,190           | -7,300                    | 426  | 0,29 | 0,33  | 0,115 | 393,6             | 396,1             | 20,07             | 20,45             | 82,01 | 83,59 | 20,8              | 20,0               | 45               | 212              | 129              |
| FlachS2_4           | 8:16:28  | 0,784            | 2,613                     | 326  | 1,03 | 0,54  | 0,052 | 357,9             | 356,7             | 19,65             | 20,28             | 61,89 | 63,87 | 25,1              | 24,4               | 42               | 242              | 142              |
| FlachS2_5           | 9:07:48  | 2,670            | 8,900                     | 177  | 1,47 | 0,42  | 0,029 | 338,7             | 335,3             | 20,50             | 21,00             | 55,66 | 57,01 | 27,6              | 27,0               | 44               | 103              | 74               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS2_6           | 10:08:31 | 1,380            | 4,600                     | 568  | 0,96 | 0,87  | 0,054 | 627,5             | 625,2             | 42,15             | 43,16             | 69,51 | 71,16 | 27,7              | 27,2               | 55               | 118              | 87               |
| FlachS2_8           | 12:04:25 | -0,379           | -1,263                    | 411  | 1,98 | 0,12  | 0,006 | 317,0             | 317,4             | 20,58             | 20,72             | 49,05 | 49,38 | 29,8              | 29,2               | 72               | 232              | 152              |
| FlachS2_9           | 13:08:08 | 0,779            | 2,597                     | 243  | 3,06 | 0,53  | 0,017 | 333,4             | 332,3             | 20,87             | 21,49             | 38,49 | 39,64 | 34,4              | 33,6               | 134              | 157              | 146              |
| FlachS2_10          | 14:07:39 | 0,996            | 3,320                     | 246  | 2,57 | 0,57  | 0,022 | 334,0             | 332,6             | 21,24             | 21,90             | 42,46 | 43,79 | 32,9              | 32,0               | 172              | 106              | 139              |
| FlachS2_11          | 15:03:20 | 2,630            | 8,767                     | 64   | 2,93 | 0,51  | 0,017 | 327,5             | 324,1             | 21,22             | 21,82             | 40,40 | 41,54 | 33,8              | 33,2               | 149              | 151              | 150              |
| FlachS2_12          | 16:08:40 | 1,610            | 5,367                     | 65,8 | 3,49 | 0,38  | 0,011 | 321,6             | 319,5             | 21,54             | 21,99             | 36,91 | 37,68 | 35,7              | 35,2               | 304              | 165              | 235              |
| FlachS2_14          | 18:11:29 | -0,606           | -2,020                    | 418  | 1,91 | 0,22  | 0,011 | 342,9             | 343,5             | 23,58             | 23,84             | 53,57 | 54,16 | 30,6              | 30,2               | 51               | 56               | 54               |
| Mittels2_1          | 5:14:55  | -0,993           | -3,310                    | 563  | 0,55 | 0,12  | 0,021 | 490,8             | 491,9             | 18,60             | 18,74             | 72,66 | 73,19 | 21,5              | 20,6               | 1                | 2                | 2                |
| Mittels2_2          | 6:12:36  | -1,780           | -5,933                    | 426  | 0,20 | 0,18  | 0,093 | 394,1             | 396,2             | 19,83             | 20,04             | 86,17 | 87,09 | 19,8              | 19,1               | 12               | 8                | 10               |
| Mittels2_3          | 7:14:13  | -3,210           | -10,700                   | 423  | 0,29 | 0,33  | 0,115 | 375,1             | 378,8             | 20,20             | 20,58             | 81,61 | 83,16 | 21,0              | 20,1               | 98               | 49               | 74               |
| Mittels2_4          | 8:20:10  | 0,300            | 1,000                     | 339  | 1,06 | 0,36  | 0,033 | 360,0             | 359,5             | 19,54             | 19,96             | 61,41 | 62,73 | 25,1              | 24,4               | 85               | 56               | 71               |
| Mittels2_6          | 10:13:03 | 2,090            | 6,967                     | 520  | 0,88 | 0,59  | 0,040 | 622,2             | 619,2             | 43,19             | 43,86             | 71,49 | 72,61 | 27,6              | 27,0               | 39               | 90               | 65               |
| Mittels2_8          | 12:07:01 | -0,480           | -1,600                    | 460  | 1,96 | 0,10  | 0,005 | 323,2             | 323,7             | 20,96             | 21,08             | 49,64 | 49,93 | 29,9              | 29,2               | 59               | 139              | 99               |
| Mittels2_9          | 13:11:47 | 0,419            | 1,397                     | 269  | 2,92 | 0,52  | 0,018 | 322,2             | 321,5             | 21,55             | 22,16             | 39,95 | 41,09 | 34,3              | 33,3               | 68               | 143              | 106              |
| Mittels2_10         | 14:11:52 | -0,294           | -0,980                    | 348  | 2,38 | 0,54  | 0,022 | 340,5             | 340,6             | 22,42             | 23,05             | 46,06 | 47,36 | 32,4              | 31,7               | 54               | 192              | 123              |
| Mittels2_11         | 15:08:11 | -0,212           | -0,707                    | 324  | 2,85 | 0,62  | 0,021 | 322,8             | 322,8             | 21,45             | 22,18             | 41,06 | 42,46 | 33,7              | 33,1               | 45               | 332              | 189              |
| Mittels2_12         | 16:11:38 | 2,620            | 8,733                     | 155  | 3,44 | 0,97  | 0,028 | 326,3             | 322,8             | 21,68             | 22,82             | 36,99 | 38,93 | 35,8              | 35,3               | 54               | 592              | 323              |
| Mittels2_14         | 18:16:04 | -0,703           | -2,343                    | 591  | 1,93 | 0,08  | 0,004 | 321,3             | 322,1             | 23,34             | 23,43             | 53,41 | 53,62 | 30,5              | 30,1               | 10               | 91               | 51               |
| TiefS2_1            | 5:32:33  | -0,685           | -2,283                    | 565  | 0,45 | 0,04  | 0,009 | 449,1             | 449,9             | 18,97             | 19,03             | 76,12 | 76,32 | 21,1              | 20,1               | 3                | 3                | 3                |
| TiefS2_2            | 6:30:11  | -1,730           | -5,767                    | 470  | 0,37 | 0,15  | 0,041 | 401,2             | 403,2             | 19,42             | 19,60             | 78,86 | 79,58 | 20,9              | 20,0               | 5                | 46               | 26               |
| TiefS2_3            | 7:32:20  | -0,426           | -1,420                    | 384  | 0,72 | 0,42  | 0,059 | 376,3             | 376,7             | 19,97             | 20,47             | 68,69 | 70,40 | 23,6              | 22,8               | 54               | 40               | 47               |
| TiefS2_4            | 8:37:42  | 1,320            | 4,400                     | 266  | 1,33 | 0,37  | 0,028 | 351,8             | 350,1             | 19,97             | 20,40             | 57,00 | 58,25 | 26,7              | 26,0               | 87               | 105              | 96               |
| TiefS2_5            | 9:31:42  | -1,190           | -3,967                    | 502  | 1,54 | 0,17  | 0,011 | 335,3             | 336,6             | 20,21             | 20,41             | 54,33 | 54,87 | 27,8              | 27,1               | 64               | 88               | 76               |
| TiefS2_6            | 10:26:36 | 2,410            | 8,033                     | 466  | 0,95 | 0,45  | 0,028 | 624,3             | 621,0             | 40,63             | 41,14             | 67,61 | 68,47 | 27,5              | 26,5               | 61               | 65               | 63               |
| TiefS2_7            | 11:25:27 | -0,312           | -1,040                    | 415  | 1,99 | 0,10  | 0,005 | 323,3             | 323,6             | 19,30             | 19,41             | 46,88 | 47,16 | 29,5              | 28,6               | 116              | 147              | 132              |
| TiefS2_8            | 12:24:44 | 0,338            | 1,127                     | 251  | 2,04 | 0,19  | 0,009 | 319,6             | 319,1             | 19,59             | 19,82             | 46,68 | 47,22 | 29,8              | 29,1               | 84               | 124              | 104              |

|           |          |        |        |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|-----------|----------|--------|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|-----|
| TiefS2_9  | 13:27:24 | 0,181  | 0,603  | 295  | 2,61 | 0,53 | 0,020 | 323,1 | 322,6 | 20,64 | 21,26 | 41,32 | 42,56 | 32,9 | 31,9 | 100 | 191 | 146 |
| TiefS2_10 | 14:29:50 | 1,510  | 5,033  | 164  | 2,74 | 0,47 | 0,017 | 322,9 | 321,0 | 19,93 | 20,48 | 39,48 | 44,63 | 33,1 | 32,1 | 162 | 142 | 152 |
| TiefS2_11 | 15:24:18 | 0,314  | 1,047  | 262  | 3,19 | 0,34 | 0,010 | 326,8 | 326,3 | 21,73 | 22,13 | 39,89 | 45,77 | 34,4 | 34,3 | 125 | 844 | 485 |
| TiefS2_14 | 18:34:34 | -1,350 | -4,500 | 1560 | 1,59 | 0,03 | 0,002 | 336,6 | 338,2 | 22,79 | 22,82 | 55,73 | 40,56 | 29,3 | 28,4 | 25  | 41  | 33  |
| TiefS2_15 | 19:32:45 | -1,520 | -5,067 | 709  | 1,06 | 0,07 | 0,007 | 347,8 | 349,6 | 22,40 | 22,48 | 64,70 | 40,63 | 26,5 | 25,7 | 16  | 14  | 15  |

**Tabelle A VI:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly am 7.08.2003 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g      | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 4:14:49  | -1,69            | -4,61                     | 287  | 0,42 | -0,11 | -0,025 | 396,0             | 398,1             | 20,68             | 20,56             | 79,81 | 79,33 | 21,8              | 21,0               | 3                | 7                | 5                |
| FlachS1_4           | 7:05:23  | 1,72             | 4,69                      | 82   | 0,96 | 0,10  | 0,010  | 367,0             | 364,9             | 20,35             | 20,46             | 66,25 | 66,61 | 24,6              | 24,2               | 219              | 38               | 129              |
| FlachS1_5           | 8:03:04  | 0,50             | 1,35                      | 233  | 1,64 | 0,11  | 0,006  | 368,1             | 367,5             | 20,49             | 20,62             | 53,94 | 54,26 | 28,2              | 27,7               | 76               | 84               | 80               |
| FlachS1_6           | 9:06:44  | -1,12            | -3,05                     | 476  | 2,21 | 0,29  | 0,013  | 349,1             | 350,3             | 21,15             | 21,49             | 47,89 | 48,65 | 30,8              | 30,5               | 575              | 92               | 334              |
| FlachS1_7           | 10:16:48 | -2,12            | -5,78                     | 1470 | 2,83 | 0,08  | 0,003  | 336,9             | 339,4             | 21,66             | 21,76             | 41,96 | 42,16 | 33,6              | 32,9               | 48               | 108              | 78               |
| FlachS1_8           | 11:06:43 | -2,19            | -5,97                     | 1110 | 4,04 | 0,18  | 0,004  | 352,1             | 354,7             | 22,73             | 22,94             | 34,63 | 34,95 | 37,9              | 37,1               | 383              | 118              | 251              |
| FlachS1_10          | 13:06:37 | -0,11            | -0,31                     | 377  | 4,94 | 0,10  | 0,002  | 315,3             | 315,4             | 24,91             | 25,03             | 31,62 | 31,77 | 41,3              | 40,1               | 59               | 76               | 68               |
| FlachS1_11          | 14:13:29 | -2,47            | -6,74                     | 1110 | 4,16 | 0,21  | 0,005  | 321,0             | 323,9             | 26,23             | 26,47             | 37,44 | 37,78 | 39,1              | 38,5               | 26               | 112              | 69               |
| FlachS1_13          | 16:04:27 | -3,67            | -10,01                    | 1480 | 2,78 | 0,14  | 0,005  | 334,0             | 338,4             | 23,46             | 23,63             | 44,01 | 44,33 | 34,1              | 33,4               | 28               | 79               | 54               |
| FlachS1_15          | 18:01:40 | -1,26            | -3,44                     | 687  | 2,17 | 0,12  | 0,005  | 333,9             | 335,4             | 21,99             | 22,13             | 49,38 | 49,71 | 30,9              | 30,6               | 5                | 64               | 35               |
| MittelS1_1          | 4:23:38  | -2,71            | -8,13                     | 142  | 1,27 | -0,23 | -0,017 | 391,7             | 395,1             | 12,50             | 12,23             | 47,85 | 46,83 | 21,9              | 21,1               | 2                | 8                | 5                |
| MittelS1_4          | 7:12:49  | 1,40             | 4,20                      | 290  | 1,03 | 0,29  | 0,028  | 378,6             | 376,8             | 20,70             | 21,04             | 64,02 | 65,07 | 25,5              | 24,9               | 23               | 56               | 40               |
| MittelS1_5          | 8:08:28  | -0,93            | -2,79                     | 767  | 1,77 | 0,07  | 0,004  | 374,2             | 375,3             | 20,96             | 21,04             | 53,36 | 53,56 | 28,8              | 28,4               | 31               | 949              | 490              |
| MittelS1_6          | 9:11:22  | 1,80             | 5,40                      | 103  | 2,16 | 0,26  | 0,012  | 356,6             | 354,3             | 21,80             | 22,10             | 48,45 | 49,14 | 31,1              | 30,5               | 47               | 229              | 138              |
| MittelS1_7          | 10:27:44 | -0,89            | -2,67                     | 1110 | 2,71 | 0,05  | 0,002  | 336,0             | 337,1             | 22,59             | 22,65             | 43,63 | 43,74 | 33,6              | 32,8               | 47               | 112              | 80               |
| MittelS1_8          | 11:14:32 | -0,53            | -1,60                     | 446  | 3,81 | 0,25  | 0,006  | 336,6             | 337,1             | 23,96             | 24,26             | 36,69 | 37,15 | 37,8              | 36,9               | 43               | 62               | 53               |
| MittelS1_11         | 14:21:26 | -3,45            | -10,35                    | 1400 | 3,86 | 0,20  | 0,005  | 338,7             | 342,8             | 26,76             | 26,99             | 38,60 | 38,94 | 38,9              | 37,8               | 55               | 58               | 57               |
| MittelS1_12         | 15:15:28 | 1,50             | 4,50                      | 242  | 3,01 | 1,05  | 0,034  | 329,3             | 327,1             | 27,57             | 28,79             | 44,69 | 46,68 | 36,8              | 35,9               | 111              | 65               | 88               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g      | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| Mittels1_14         | 17:11:38 | -0,33            | -0,98                     | 402  | 2,03 | 0,16  | 0,008  | 347,4             | 347,7             | 26,53             | 26,72             | 54,56 | 54,95 | 32,5              | 31,8               | 161              | 40               | 101              |
| Mittels1_15         | 18:07:15 | -2,71            | -8,13                     | 883  | 2,12 | 0,17  | 0,008  | 346,4             | 349,6             | 21,49             | 21,69             | 48,75 | 49,20 | 30,8              | 30,2               | 18               | 17               | 18               |
| TiefS1_3            | 6:18:46  | -2,81            | -8,43                     | 955  | 0,79 | 0,07  | 0,008  | 419,9             | 423,3             | 20,44             | 20,52             | 68,30 | 68,56 | 24,2              | 23,3               | 10               | 69               | 40               |
| TiefS1_4            | 7:21:24  | -0,55            | -1,65                     | 464  | 1,27 | 0,10  | 0,008  | 357,7             | 358,3             | 21,47             | 21,58             | 59,68 | 60,01 | 27,3              | 26,4               | 10               | 123              | 67               |
| TiefS1_5            | 8:22:27  | 1,56             | 4,68                      | 270  | 2,07 | 0,73  | 0,035  | 354,7             | 352,5             | 21,41             | 22,27             | 47,99 | 49,92 | 31,0              | 30,3               | 20               | 78               | 49               |
| TiefS1_6            | 9:34:07  | -1,36            | -4,08                     | 631  | 3,19 | 0,22  | 0,007  | 334,3             | 335,8             | 23,17             | 23,43             | 39,76 | 40,21 | 35,8              | 34,7               | 103              | 121              | 112              |
| TiefS1_7            | 10:37:41 | -0,99            | -2,98                     | 662  | 3,24 | 0,15  | 0,005  | 338,3             | 339,4             | 22,54             | 22,72             | 38,72 | 39,03 | 35,7              | 34,6               | 62               | 209              | 136              |
| TiefS1_8            | 11:21:27 | 0,00             | -0,01                     | 317  | 3,96 | 0,19  | 0,005  | 337,2             | 337,1             | 23,18             | 23,41             | 34,97 | 35,31 | 38,1              | 37,1               | 52               | 87               | 70               |
| TiefS1_9            | 12:36:56 | -1,64            | -4,92                     | 2410 | 4,81 | 0,06  | 0,001  | 323,4             | 325,3             | 24,83             | 24,90             | 31,60 | 31,69 | 41,3              | 39,8               | 56               | 151              | 104              |
| TiefS1_10           | 13:22:04 | -0,69            | -2,07                     | 1430 | 4,42 | 0,04  | 0,001  | 340,7             | 341,5             | 26,19             | 26,24             | 34,75 | 34,81 | 40,5              | 39,1               | 28               | 63               | 46               |
| TiefS1_11           | 14:33:01 | -4,88            | -14,64                    | 2180 | 3,63 | 0,15  | 0,004  | 331,0             | 336,8             | 26,95             | 27,13             | 39,73 | 40,00 | 38,5              | 37,2               | 12               | 51               | 32               |
| TiefS1_12           | 15:34:18 | -0,20            | -0,60                     | 1050 | 3,08 | 0,01  | 0,000  | 318,1             | 318,3             | 27,26             | 27,28             | 43,90 | 43,93 | 36,9              | 35,6               | 20               | 58               | 39               |
| TiefS1_13           | 16:23:02 | -1,23            | -3,69                     | 503  | 2,77 | 0,29  | 0,010  | 327,1             | 328,4             | 23,07             | 23,41             | 42,66 | 43,29 | 34,4              | 33,3               | 53               | 43               | 48               |
| TiefS1_14           | 17:20:39 | -3,32            | -9,96                     | 1150 | 1,98 | 0,13  | 0,006  | 338,5             | 342,5             | 27,17             | 27,32             | 55,02 | 55,33 | 32,7              | 31,9               | 52               | 30               | 41               |
| TiefS1_15           | 18:10:45 | -1,46            | -4,38                     | 685  | 2,11 | 0,15  | 0,007  | 364,2             | 365,8             | 21,31             | 21,48             | 48,45 | 48,85 | 30,7              | 30,1               | 13               | 16               | 15               |
| FlachS2_1           | 4:17:52  | -2,23            | -7,43                     | 226  | 0,40 | -0,08 | -0,019 | 414,3             | 417,0             | 20,96             | 20,87             | 81,06 | 80,71 | 21,8              | 21,1               | 5                | 7                | 6                |
| FlachS2_4           | 7:08:05  | 0,37             | 1,25                      | 314  | 0,98 | 0,13  | 0,013  | 365,3             | 364,8             | 20,29             | 20,44             | 65,39 | 65,89 | 24,8              | 24,3               | 114              | 55               | 85               |
| FlachS2_6           | 9:08:14  | -1,53            | -5,10                     | 525  | 2,18 | 0,28  | 0,013  | 347,4             | 349,2             | 21,63             | 21,96             | 48,78 | 49,53 | 30,9              | 30,5               | 76               | 138              | 107              |
| FlachS2_7           | 10:23:10 | -0,63            | -2,09                     | 1530 | 2,72 | 0,02  | 0,001  | 338,5             | 339,2             | 22,36             | 22,39             | 43,88 | 43,93 | 33,3              | 32,8               | 62               | 145              | 104              |
| FlachS2_8           | 11:09:14 | -2,45            | -8,17                     | 1290 | 4,07 | 0,17  | 0,004  | 349,8             | 352,7             | 22,54             | 22,73             | 34,44 | 34,74 | 37,9              | 37,2               | 72               | 100              | 86               |
| FlachS2_10          | 13:08:18 | 0,36             | 1,19                      | 39   | 5,00 | 0,10  | 0,002  | 350,5             | 350,0             | 24,20             | 24,32             | 30,83 | 30,98 | 41,3              | 40,1               | 55               | 189              | 122              |
| FlachS2_11          | 14:16:29 | -2,36            | -7,87                     | 1160 | 4,25 | 0,19  | 0,004  | 341,1             | 343,9             | 26,19             | 26,42             | 37,11 | 37,42 | 39,3              | 38,7               | 80               | 1069             | 575              |
| FlachS2_12          | 15:11:34 | 0,37             | 1,23                      | 287  | 3,10 | 0,60  | 0,019  | 335,5             | 334,8             | 26,85             | 27,55             | 44,74 | 45,91 | 36,3              | 35,7               | 76               | 865              | 471              |
| FlachS2_14          | 17:07:20 | -2,86            | -9,53                     | 1070 | 2,23 | 0,14  | 0,006  | 331,1             | 334,5             | 24,30             | 24,46             | 50,58 | 50,91 | 32,3              | 31,7               | 40               | 133              | 87               |
| FlachS2_15          | 18:04:36 | -2,59            | -8,63                     | 821  | 2,16 | 0,18  | 0,008  | 330,6             | 333,6             | 21,48             | 21,70             | 48,61 | 49,09 | 30,8              | 30,4               | 25               | 84               | 55               |
| Mittels2_1          | 4:25:45  | -2,18            | -9,34                     | 77   | 1,21 | -0,13 | -0,010 | 419,2             | 421,8             | 13,18             | 13,04             | 49,97 | 49,40 | 22,1              | 21,2               | 6                | 5                | 6                |
| Mittels2_3          | 6:14:25  | 0,54             | 2,31                      | 197  | 0,69 | 0,03  | 0,005  | 388,6             | 387,9             | 20,48             | 20,51             | 71,20 | 71,33 | 23,5              | 22,7               | 58               | 24               | 41               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS2_4          | 7:16:27  | -1,75            | -7,50                     | 659  | 1,17 | 0,12  | 0,010 | 378,3             | 380,3             | 20,41             | 20,55             | 60,97 | 61,37 | 26,1              | 25,4               | 111              | 44               | 78               |
| MittelS2_6          | 9:14:23  | -1,60            | -6,86                     | 801  | 2,26 | 0,13  | 0,006 | 356,6             | 358,5             | 23,17             | 23,32             | 49,81 | 50,14 | 31,7              | 31,4               | 86               | 105              | 96               |
| MittelS2_7          | 10:33:51 | -0,86            | -3,69                     | 575  | 2,97 | 0,17  | 0,005 | 340,6             | 341,6             | 24,73             | 24,93             | 44,11 | 44,46 | 35,1              | 34,5               | 132              | 93               | 113              |
| MittelS2_8          | 11:18:13 | -0,11            | -0,46                     | 361  | 4,02 | 0,18  | 0,004 | 345,3             | 345,4             | 23,31             | 23,52             | 35,29 | 35,62 | 38,0              | 37,3               | 64               | 76               | 70               |
| MittelS2_9          | 12:42:31 | -0,42            | -1,81                     | 653  | 4,77 | 0,10  | 0,002 | 342,2             | 342,6             | 24,84             | 24,95             | 32,03 | 32,18 | 41,0              | 39,7               | 63               | 167              | 115              |
| MittelS2_12         | 15:19:26 | 0,54             | 2,30                      | 305  | 3,13 | 1,06  | 0,033 | 349,6             | 348,5             | 28,64             | 29,87             | 45,08 | 47,01 | 37,3              | 36,5               | 54               | 1131             | 593              |
| MittelS2_13         | 16:19:03 | -2,09            | -8,96                     | 722  | 2,78 | 0,24  | 0,008 | 336,7             | 339,2             | 23,80             | 24,08             | 43,77 | 44,28 | 34,5              | 33,5               | 31               | 84               | 58               |
| MittelS2_14         | 17:14:16 | -2,71            | -11,61                    | 1940 | 2,01 | 0,05  | 0,003 | 337,5             | 340,7             | 26,85             | 26,91             | 54,78 | 54,91 | 32,6              | 31,8               | 26               | 43               | 35               |
| MittelS2_15         | 18:09:02 | -2,91            | -12,47                    | 898  | 2,09 | 0,18  | 0,008 | 349,2             | 352,6             | 21,55             | 21,75             | 48,90 | 49,37 | 30,7              | 30,1               | 22               | 23               | 23               |
|                     |          |                  |                           |      |      |       |       |                   |                   |                   |                   |       |       |                   |                    |                  |                  |                  |
| TiefS2_1            | 4:39:11  | -3,32            | -9,96                     | 960  | 0,47 | 0,05  | 0,010 | 439,6             | 443,6             | 21,97             | 22,03             | 78,28 | 78,48 | 23,1              | 22,3               | 7                | 9                | 8                |
| TiefS2_3            | 6:21:56  | -1,09            | -3,27                     | 682  | 0,87 | 0,05  | 0,006 | 391,2             | 392,5             | 20,35             | 20,41             | 66,43 | 66,62 | 24,6              | 23,7               | 9                | 85               | 47               |
| TiefS2_4            | 7:23:27  | -0,61            | -1,82                     | 510  | 1,43 | 0,09  | 0,006 | 357,7             | 358,4             | 21,35             | 21,45             | 58,02 | 58,29 | 27,7              | 27,1               | 13               | 737              | 375              |
| TiefS2_5            | 8:15:12  | -3,94            | -11,82                    | 1550 | 1,86 | 0,10  | 0,005 | 364,0             | 368,7             | 21,58             | 21,70             | 51,50 | 51,77 | 29,9              | 29,1               | 29               | 66               | 48               |
| TiefS2_5            | 8:20:24  | 1,89             | 5,67                      | 255  | 2,05 | 0,75  | 0,036 | 352,5             | 349,9             | 21,36             | 22,24             | 48,63 | 50,63 | 30,7              | 30,2               | 1387             | 53               | 720              |
| TiefS2_6            | 9:31:19  | -1,25            | -3,75                     | 657  | 3,33 | 0,20  | 0,006 | 344,7             | 346,1             | 22,97             | 23,21             | 40,42 | 40,84 | 35,3              | 35,1               | 93               | 1122             | 608              |
| TiefS2_7            | 10:42:57 | -1,47            | -4,41                     | 871  | 3,31 | 0,14  | 0,004 | 326,9             | 328,6             | 24,69             | 24,85             | 41,04 | 41,31 | 36,3              | 35,6               | 91               | 118              | 105              |
| TiefS2_8            | 11:24:42 | -3,21            | -9,63                     | 1800 | 4,37 | 0,15  | 0,003 | 327,5             | 331,3             | 23,33             | 23,50             | 34,95 | 35,21 | 38,2              | 38,2               | 15               | 286              | 151              |
| TiefS2_10           | 13:26:49 | -3,86            | -11,58                    | 1650 | 4,33 | 0,20  | 0,004 | 335,0             | 339,5             | 27,00             | 27,23             | 35,95 | 36,27 | 40,4              | 39,1               | 46               | 141              | 94               |
| TiefS2_12           | 15:36:33 | -0,08            | -0,25                     | 455  | 3,06 | 0,03  | 0,001 | 342,9             | 343,0             | 27,21             | 27,25             | 44,20 | 44,26 | 36,7              | 35,5               | 302              | 71               | 187              |
| TiefS2_13           | 16:24:39 | -0,50            | -1,50                     | 442  | 2,73 | 0,26  | 0,009 | 374,1             | 374,6             | 23,20             | 23,51             | 43,19 | 43,76 | 34,3              | 33,2               | 20               | 42               | 31               |
| TiefS2_14           | 17:23:26 | -3,38            | -10,14                    | 998  | 2,00 | 0,16  | 0,008 | 330,2             | 334,2             | 27,05             | 27,24             | 54,61 | 54,99 | 32,8              | 31,9               | 41               | 57               | 49               |
| TiefS2_15           | 18:12:23 | -2,71            | -8,13                     | 956  | 2,03 | 0,15  | 0,007 | 354,9             | 358,0             | 21,98             | 22,15             | 50,02 | 50,41 | 30,7              | 30,0               | 39               | 44               | 42               |

**Tabelle A VII** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly am 18.8.2003 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | J <sub>CO<sub>2</sub></sub> | J <sub>CO<sub>2</sub></sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_2           | 6:41:08  | -3,84                       | -12,80                               | 587  | 0,18 | 0,05  | 0,030 | 375,3             | 379,9             | 15,30             | 15,36             | 84,30 | 84,65 | 16,0              | 15,2               | 11               | 20               | 16               |
| FlachS1_3           | 7:35:50  | -0,53                       | -1,77                                | 374  | 0,20 | 0,17  | 0,087 | 365,0             | 365,6             | 17,10             | 17,30             | 85,19 | 86,19 | 17,6              | 17,0               | 24               | 30               | 27               |
| FlachS1_4           | 8:36:07  | 1,95                        | 6,50                                 | 213  | 1,03 | 0,25  | 0,024 | 352,7             | 350,3             | 17,12             | 17,42             | 59,65 | 60,66 | 23,4              | 22,8               | 18               | 57               | 38               |
| FlachS1_5           | 9:32:45  | -1,94                       | -6,47                                | 547  | 1,55 | 0,23  | 0,014 | 340,2             | 342,5             | 18,36             | 18,63             | 52,18 | 52,93 | 26,8              | 26,3               | 153              | 64               | 109              |
| FlachS1_6           | 10:48:54 | 0,24                        | 0,78                                 | 576  | 1,41 | 0,36  | 0,015 | 625,7             | 625,1             | 41,36             | 41,77             | 61,04 | 61,65 | 29,6              | 28,8               | 584              | 69               | 327              |
| FlachS1_8           | 12:40:32 | -0,56                       | -1,87                                | 355  | 3,06 | 0,67  | 0,021 | 329,1             | 329,5             | 18,75             | 19,53             | 35,70 | 37,20 | 33,8              | 32,9               | 55               | 146              | 101              |
| FlachS1_9           | 13:39:39 | 1,69                        | 5,63                                 | 237  | 1,81 | 0,62  | 0,034 | 327,9             | 325,7             | 16,80             | 17,53             | 44,54 | 46,48 | 28,0              | 27,0               | 33               | 95               | 64               |
| FlachS1_10          | 14:36:15 | 2,32                        | 7,73                                 | 101  | 0,88 | 0,14  | 0,016 | 337,2             | 334,3             | 17,49             | 17,66             | 63,90 | 64,52 | 22,6              | 22,0               | 55               | 220              | 138              |
| FlachS1_11          | 15:39:08 | 1,57                        | 5,23                                 | 276  | 0,97 | 0,46  | 0,048 | 336,6             | 334,5             | 16,56             | 17,10             | 58,78 | 60,72 | 23,1              | 22,3               | 19               | 29               | 24               |
| FlachS1_13          | 17:38:04 | -0,37                       | -1,22                                | 375  | 0,84 | 0,13  | 0,015 | 340,4             | 340,8             | 16,59             | 16,74             | 62,97 | 63,54 | 22,0              | 21,2               | 15               | 29               | 22               |
| MittelS1_3          | 7:45:08  | -1,64                       | -4,47                                | 415  | 0,32 | 0,14  | 0,045 | 355,8             | 357,7             | 18,11             | 18,28             | 80,42 | 81,17 | 19,5              | 18,7               | 18               | 38               | 28               |
| MittelS1_4          | 8:45:13  | 0,24                        | 0,66                                 | 318  | 1,15 | 0,20  | 0,017 | 347,4             | 347,0             | 17,18             | 17,42             | 56,28 | 57,07 | 24,5              | 23,5               | 27               | 251              | 139              |
| MittelS1_5          | 9:41:43  | -1,52                       | -4,15                                | 507  | 1,64 | 0,24  | 0,014 | 346,7             | 348,4             | 18,73             | 19,02             | 50,98 | 51,75 | 27,6              | 26,9               | 32               | 124              | 78               |
| MittelS1_6          | 10:58:57 | 0,98                        | 2,67                                 | 603  | 1,59 | 1,09  | 0,040 | 672,2             | 670,2             | 43,72             | 44,97             | 62,83 | 64,61 | 30,1              | 30,4               | 49               | 137              | 93               |
| MittelS1_7          | 11:51:08 | -0,59                       | -1,61                                | 422  | 1,40 | 0,15  | 0,010 | 339,3             | 340,0             | 20,00             | 20,18             | 54,77 | 55,24 | 27,5              | 26,3               | 30               | 69               | 50               |
| MittelS1_8          | 12:46:51 | -1,81                       | -4,94                                | 446  | 2,91 | 0,68  | 0,023 | 334,8             | 336,7             | 19,33             | 20,12             | 37,23 | 38,76 | 33,6              | 32,6               | 52               | 65               | 59               |
| MittelS1_9          | 13:46:01 | -6,56                       | -17,89                               | 1220 | 1,63 | 0,19  | 0,012 | 333,1             | 340,9             | 16,30             | 16,52             | 46,64 | 47,29 | 26,7              | 25,6               | 13               | 38               | 26               |
| MittelS1_9          | 13:55:29 | -1,66                       | -4,53                                | 774  | 1,43 | 0,09  | 0,006 | 334,4             | 336,4             | 16,42             | 16,53             | 49,96 | 50,27 | 25,7              | 24,5               | 6                | 66               | 36               |
| MittelS1_10         | 14:46:22 | -0,05                       | -0,15                                | 331  | 1,07 | 0,49  | 0,046 | 335,3             | 335,2             | 16,97             | 17,55             | 56,70 | 58,63 | 24,1              | 23,1               | 52               | 78               | 65               |
| MittelS1_11         | 15:48:30 | 0,91                        | 2,49                                 | 316  | 0,94 | 0,45  | 0,048 | 353,1             | 351,9             | 16,47             | 17,00             | 59,28 | 61,18 | 22,9              | 22,0               | 6                | 29               | 18               |
| MittelS1_12         | 16:56:03 | -1,01                       | -2,75                                | 455  | 0,84 | 0,12  | 0,014 | 343,3             | 344,5             | 17,74             | 17,88             | 63,74 | 64,24 | 22,9              | 21,9               | 27               | 31               | 29               |
| MittelS1_13         | 17:45:41 | -1,48                       | -4,04                                | 494  | 0,73 | 0,13  | 0,017 | 357,2             | 359,0             | 17,38             | 17,53             | 66,02 | 66,58 | 22,0              | 21,0               | 5                | 24               | 15               |
| TiefS1_3            | 7:54:56  | -0,22                       | -0,93                                | 357  | 0,69 | 0,27  | 0,039 | 351,7             | 351,8             | 17,11             | 17,42             | 66,78 | 68,01 | 21,6              | 20,6               | 25               | 22               | 24               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS1_4            | 8:53:43  | -0,19            | -0,81                     | 354  | 1,16 | 0,17  | 0,015 | 340,0             | 340,1             | 18,86             | 19,06             | 57,68 | 58,30 | 25,6              | 24,5               | 32               | 59               | 46               |
| TiefS1_5            | 9:49:43  | 3,62             | 15,51                     | 149  | 1,77 | 0,59  | 0,033 | 337,1             | 332,5             | 18,57             | 19,27             | 47,89 | 49,69 | 28,5              | 27,6               | 42               | 126              | 84               |
| TiefS1_6            | 11:07:16 | -2,16            | -9,26                     | 792  | 1,65 | 0,52  | 0,019 | 634,6             | 636,8             | 41,09             | 41,69             | 56,16 | 56,99 | 30,9              | 29,8               | 97               | 63               | 80               |
| TiefS1_7            | 12:00:12 | -0,31            | -1,35                     | 373  | 1,59 | 0,16  | 0,010 | 331,5             | 331,8             | 19,84             | 20,03             | 52,39 | 52,89 | 28,1              | 27,1               | 82               | 108              | 95               |
| TiefS1_8            | 12:55:17 | 0,65             | 2,78                      | 264  | 3,06 | 0,58  | 0,018 | 336,6             | 335,6             | 19,68             | 20,36             | 36,52 | 37,77 | 34,3              | 33,2               | 186              | 136              | 161              |
| TiefS1_9            | 13:58:41 | 0,42             | 1,79                      | 254  | 1,29 | 0,10  | 0,008 | 350,4             | 349,9             | 16,60             | 16,72             | 51,93 | 52,30 | 25,2              | 23,9               | 20               | 53               | 37               |
| TiefS1_10           | 14:55:44 | 0,07             | 0,32                      | 333  | 1,29 | 0,23  | 0,017 | 347,2             | 347,0             | 16,52             | 16,79             | 51,82 | 52,65 | 25,2              | 23,9               | 42               | 66               | 54               |
| TiefS1_11           | 15:58:29 | 0,09             | 0,39                      | 315  | 0,99 | 0,07  | 0,007 | 340,7             | 340,6             | 16,67             | 16,75             | 58,55 | 58,85 | 23,3              | 22,2               | 23               | 17               | 20               |
| TiefS1_12           | 17:04:29 | -0,39            | -1,65                     | 837  | 0,95 | 0,01  | 0,001 | 348,9             | 349,4             | 17,37             | 17,38             | 60,61 | 60,66 | 23,4              | 22,3               | 29               | 40               | 35               |
| TiefS1_13           | 17:51:07 | -4,22            | -18,09                    | 1480 | 0,71 | 0,04  | 0,006 | 343,1             | 348,2             | 17,33             | 17,38             | 66,39 | 66,58 | 21,8              | 20,8               | 5                | 19               | 12               |
| FlachS2_2           | 6:43:38  | -5,02            | -16,73                    | 736  | 0,17 | 0,04  | 0,023 | 371,6             | 377,6             | 15,44             | 15,49             | 84,72 | 84,96 | 16,1              | 15,2               | 20               | 27               | 24               |
| FlachS2_3           | 7:39:26  | -1,01            | -3,37                     | 379  | 0,20 | 0,17  | 0,084 | 359,6             | 360,7             | 17,70             | 17,89             | 85,02 | 85,96 | 18,2              | 17,5               | 48               | 46               | 47               |
| FlachS2_4           | 8:38:52  | 0,75             | 2,49                      | 294  | 1,02 | 0,22  | 0,022 | 355,4             | 354,4             | 17,24             | 17,51             | 59,52 | 60,42 | 23,6              | 22,8               | 123              | 67               | 95               |
| FlachS2_5           | 9:36:51  | 0,55             | 1,83                      | 283  | 1,64 | 0,25  | 0,015 | 350,3             | 349,6             | 17,54             | 17,84             | 49,26 | 50,10 | 27,0              | 26,3               | 386              | 77               | 232              |
| FlachS2_6           | 10:54:11 | 0,96             | 3,19                      | 623  | 1,31 | 1,66  | 0,076 | 669,9             | 667,4             | 41,85             | 43,75             | 61,46 | 64,25 | 29,7              | 28,9               | 144              | 128              | 136              |
| FlachS2_8           | 12:42:44 | -0,99            | -3,31                     | 388  | 3,14 | 0,63  | 0,020 | 324,6             | 325,5             | 17,80             | 18,55             | 34,06 | 35,49 | 33,7              | 32,9               | 562              | 165              | 364              |
| FlachS2_9           | 13:42:02 | 1,05             | 3,50                      | 271  | 1,78 | 0,61  | 0,034 | 331,8             | 330,3             | 15,61             | 16,33             | 42,94 | 44,91 | 27,4              | 26,2               | 47               | 108              | 78               |
| FlachS2_10          | 14:40:39 | 1,83             | 6,10                      | 222  | 1,03 | 0,25  | 0,024 | 350,3             | 348,0             | 16,74             | 17,04             | 58,45 | 59,49 | 23,4              | 22,6               | 50               | 185              | 118              |
| FlachS2_11          | 15:43:07 | 0,20             | 0,67                      | 324  | 0,94 | 0,43  | 0,046 | 336,8             | 336,4             | 16,30             | 16,81             | 58,79 | 60,61 | 22,8              | 21,9               | 14               | 38               | 26               |
| FlachS2_13          | 17:42:11 | -1,00            | -3,32                     | 431  | 0,77 | 0,15  | 0,020 | 353,3             | 354,4             | 16,94             | 17,12             | 64,46 | 65,15 | 22,0              | 21,0               | 18               | 30               | 24               |
| MittelS2_2          | 6:50:38  | -5,38            | -20,18                    | 698  | 0,17 | 0,04  | 0,027 | 368,0             | 374,5             | 16,26             | 16,31             | 85,10 | 85,38 | 16,8              | 15,9               | 10               | 25               | 18               |
| MittelS2_3          | 7:47:53  | -1,00            | -3,75                     | 400  | 0,41 | 0,14  | 0,034 | 353,6             | 354,7             | 18,13             | 18,29             | 77,31 | 78,01 | 20,1              | 19,3               | 15               | 41               | 28               |
| MittelS2_4          | 8:48:48  | 0,14             | 0,53                      | 326  | 1,20 | 0,19  | 0,016 | 347,5             | 347,3             | 17,60             | 17,83             | 55,97 | 56,69 | 24,9              | 24,0               | 43               | 374              | 209              |
| MittelS2_5          | 9:45:34  | 3,55             | 13,31                     | 154  | 1,73 | 0,59  | 0,034 | 333,4             | 328,9             | 18,65             | 19,35             | 49,18 | 51,03 | 28,1              | 27,5               | 1179             | 70               | 625              |
| MittelS2_6          | 11:02:32 | 3,88             | 14,55                     | 492  | 1,64 | 1,37  | 0,049 | 651,3             | 645,6             | 41,67             | 43,24             | 57,89 | 60,07 | 30,6              | 30,1               | 63               | 827              | 445              |
| MittelS2_7          | 11:55:28 | 0,02             | 0,09                      | 321  | 1,53 | 0,16  | 0,010 | 332,5             | 332,4             | 20,34             | 20,53             | 54,50 | 55,01 | 27,8              | 27,1               | 76               | 209              | 143              |
| MittelS2_8          | 12:51:15 | 1,12             | 4,20                      | 260  | 3,05 | 1,04  | 0,034 | 330,3             | 328,5             | 19,02             | 20,24             | 36,17 | 38,50 | 33,8              | 33,1               | 79               | 608              | 344              |
| MittelS2_9          | 13:53:44 | 0,47             | 1,77                      | 151  | 1,49 | 0,06  | 0,004 | 345,7             | 345,1             | 16,06             | 16,14             | 48,35 | 48,57 | 25,9              | 24,7               | 62               | 36               | 49               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci   | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS2_10         | 14:50:59 | 0,58             | 2,16                      | 305  | 1,22 | 0,55  | 0,045 | 333,2             | 332,3             | 16,73             | 17,37             | 53,45 | 55,52 | 24,8              | 23,9               | 51               | 145              | 98               |
| MittelS2_11         | 15:52:15 | -1,37            | -5,14                     | 449  | 0,96 | 0,21  | 0,022 | 351,7             | 353,2             | 16,46             | 16,71             | 58,71 | 59,60 | 23,0              | 21,9               | 16               | 33               | 25               |
| MittelS2_12         | 16:59:17 | -1,28            | -4,80                     | 529  | 0,87 | 0,10  | 0,011 | 344,9             | 346,4             | 17,80             | 17,91             | 62,99 | 63,39 | 23,1              | 22,1               | 31               | 55               | 43               |
| MittelS2_13         | 17:47:52 | -2,48            | -9,30                     | 570  | 0,74 | 0,13  | 0,017 | 341,9             | 344,8             | 17,19             | 17,34             | 65,31 | 65,88 | 22,0              | 20,9               | 8                | 34               | 21               |
| TiefS2_2            | 6:57:38  | -5,54            | -20,78                    | 818  | 0,23 | 0,05  | 0,020 | 355,4             | 362,0             | 16,35             | 16,40             | 81,76 | 82,03 | 17,6              | 16,5               | 14               | 27               | 21               |
| TiefS2_3            | 8:00:50  | 0,46             | 1,71                      | 321  | 0,77 | 0,22  | 0,029 | 351,2             | 350,6             | 17,81             | 18,08             | 64,64 | 65,60 | 22,8              | 21,6               | 24               | 52               | 38               |
| TiefS2_4            | 8:57:20  | -0,54            | -2,03                     | 399  | 1,25 | 0,18  | 0,014 | 344,1             | 344,7             | 18,83             | 19,04             | 56,09 | 56,71 | 26,1              | 24,9               | 24               | 79               | 52               |
| TiefS2_5            | 9:54:31  | 0,18             | 0,67                      | 321  | 1,87 | 0,48  | 0,025 | 342,7             | 342,3             | 19,08             | 19,65             | 47,92 | 49,33 | 29,0              | 28,3               | 55               | 1138             | 597              |
| TiefS2_6            | 11:10:51 | 0,73             | 2,75                      | 574  | 1,57 | 0,92  | 0,034 | 636,1             | 634,5             | 41,71             | 42,77             | 58,22 | 59,69 | 30,6              | 29,7               | 84               | 1009             | 547              |
| TiefS2_7            | 12:03:45 | 1,55             | 5,81                      | 203  | 1,62 | 0,33  | 0,020 | 337,2             | 335,2             | 19,67             | 20,06             | 51,66 | 52,67 | 28,2              | 27,3               | 87               | 167              | 127              |
| TiefS2_8            | 12:58:09 | 0,19             | 0,72                      | 292  | 3,06 | 0,59  | 0,019 | 324,7             | 324,2             | 18,75             | 19,44             | 34,89 | 36,19 | 34,2              | 32,9               | 83               | 138              | 111              |
| TiefS2_9            | 14:00:47 | 0,36             | 1,35                      | 262  | 1,17 | 0,10  | 0,008 | 336,7             | 336,2             | 16,54             | 16,66             | 53,50 | 53,88 | 24,7              | 23,2               | 41               | 13               | 27               |
| TiefS2_10           | 15:00:27 | -0,75            | -2,82                     | 372  | 1,24 | 0,42  | 0,033 | 342,1             | 342,8             | 17,37             | 17,87             | 53,77 | 55,30 | 25,4              | 24,3               | 35               | 79               | 57               |
| TiefS2_11           | 16:03:25 | -0,53            | -1,98                     | 422  | 1,00 | 0,09  | 0,009 | 336,4             | 337,0             | 16,63             | 16,74             | 58,01 | 58,40 | 23,4              | 22,2               | 22               | 20               | 21               |
| TiefS2_12           | 17:07:11 | -0,63            | -2,36                     | 1540 | 0,92 | 0,01  | 0,001 | 336,6             | 337,3             | 17,75             | 17,76             | 61,50 | 61,53 | 23,5              | 22,3               | 42               | 44               | 43               |
| TiefS2_13           | 17:56:31 | -0,20            | -0,75                     | 448  | 0,66 | 0,02  | 0,003 | 334,9             | 335,1             | 17,65             | 17,67             | 68,12 | 68,20 | 21,7              | 20,6               | 26               | 13               | 20               |

**Tabelle A VIII:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo am 3.08.2004 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | J <sub>CO<sub>2</sub></sub> | J <sub>CO<sub>2</sub></sub><br>Blatt | C <sub>i</sub> | VpdL | Trans | g      | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------|------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 6:23:00  | -0,88                       | -3,79                                | 392            | 0,43 | 0,32  | 0,075  | 374,0             | 374,9             | 16,48             | 16,86             | 70,76 | 72,36 | 20,1              | 18,5               | 154              | 14               | 84               |
| FlachS1_2           | 7:10:46  | 0,04                        | 0,19                                 | 361            | 0,48 | -0,06 | -0,011 | 357,2             | 357,2             | 18,36             | 18,30             | 73,26 | 73,00 | 21,3              | 19,9               | 19               | 42               | 31               |
| FlachS1_3           | 8:33:10  | 0,32                        | 1,36                                 | 92             | 0,46 | 0,01  | 0,002  | 343,1             | 342,7             | 18,44             | 18,45             | 73,22 | 73,26 | 21,3              | 19,9               | 13               | 66               | 40               |
| FlachS1_4           | 9:50:17  | 0,26                        | 1,13                                 | 329            | 1,82 | 0,58  | 0,032  | 352,9             | 352,3             | 17,40             | 18,08             | 44,78 | 46,55 | 28,6              | 27,3               | 35               | 167              | 101              |
| FlachS1_5           | 10:33:09 | 0,84                        | 3,62                                 | 304            | 2,27 | 1,19  | 0,053  | 343,7             | 342,2             | 17,67             | 19,07             | 39,43 | 42,55 | 31,1              | 29,7               | 36               | 162              | 99               |
| FlachS1_6           | 11:04:51 | 0,31                        | 1,32                                 | 331            | 2,65 | 1,10  | 0,041  | 358,4             | 357,5             | 17,54             | 18,84             | 35,60 | 38,22 | 32,8              | 31,2               | 28               | 156              | 92               |
| FlachS1_7           | 13:06:44 | 0,56                        | 2,42                                 | 274            | 2,39 | 0,67  | 0,028  | 319,3             | 318,4             | 19,10             | 19,88             | 40,45 | 42,11 | 32,0              | 30,6               | 53               | 817              | 435              |
| FlachS1_8           | 13:27:50 | 2,14                        | 9,17                                 | 239            | 2,72 | 1,12  | 0,041  | 340,4             | 337,4             | 17,94             | 19,25             | 35,46 | 38,06 | 33,2              | 31,6               | 45               | 1077             | 561              |
| FlachS1_9           | 14:23:44 | 3,19                        | 13,67                                | 289            | 3,41 | 3,63  | 0,108  | 361,4             | 356,0             | 17,63             | 21,89             | 28,55 | 35,45 | 36,8              | 34,9               | 34               | 1095             | 565              |
| FlachS1_10          | 15:05:37 | 2,83                        | 12,13                                | 199            | 2,96 | 1,25  | 0,042  | 325,2             | 321,4             | 15,07             | 16,54             | 30,63 | 33,61 | 32,7              | 31,5               | 41               | 248              | 145              |
| FlachS1_11          | 16:25:33 | 2,20                        | 7,33                                 | 242            | 2,48 | 1,17  | 0,047  | 332,4             | 329,3             | 14,11             | 15,49             | 31,21 | 34,26 | 31,2              | 29,1               | 17               | 214              | 116              |
| FlachS1_12          | 17:04:25 | 1,59                        | 5,30                                 | 265            | 2,68 | 1,74  | 0,065  | 320,0             | 317,5             | 14,48             | 16,53             | 31,45 | 35,90 | 31,6              | 30,4               | 36               | 577              | 307              |
| FlachS1_13          | 17:53:35 | 1,84                        | 6,13                                 | 185            | 1,26 | 0,28  | 0,022  | 328,5             | 326,2             | 14,19             | 14,52             | 46,27 | 47,33 | 24,6              | 22,5               | 7                | 62               | 35               |
| FlachS1_14          | 19:00:29 | 0,61                        | 2,03                                 | 278            | 0,78 | 0,17  | 0,022  | 327,4             | 326,6             | 14,83             | 15,03             | 57,06 | 57,83 | 21,9              | 19,7               | 2                | 50               | 26               |
| FlachS1_15          | 19:30:16 | -0,92                       | -3,05                                | 451            | 0,76 | 0,08  | 0,011  | 322,4             | 323,5             | 16,47             | 16,56             | 59,89 | 60,25 | 22,8              | 20,6               | 1                | 34               | 18               |
| MittelS1_1          | 6:32:30  | -0,81                       | -4,88                                | 379            | 0,31 | 1,17  | 0,446  | 376,7             | 377,2             | 16,87             | 18,25             | 71,85 | 77,70 | 20,2              | 18,6               | 61               | 25               | 43               |
| MittelS1_2          | 7:20:29  | 1,10                        | 6,60                                 | 263            | 0,51 | 0,08  | 0,016  | 375,1             | 373,7             | 18,10             | 18,20             | 71,11 | 71,50 | 21,5              | 20,0               | 47               | 41               | 44               |
| MittelS1_3          | 8:40:41  | 0,23                        | 1,36                                 | 337            | 0,52 | 0,19  | 0,037  | 350,7             | 350,4             | 18,57             | 18,80             | 70,89 | 71,74 | 22,0              | 20,5               | 24               | 69               | 47               |
| MittelS1_4          | 9:35:30  | 0,38                        | 2,26                                 | 320            | 1,40 | 0,36  | 0,026  | 351,4             | 350,8             | 17,57             | 17,99             | 49,90 | 51,10 | 26,9              | 25,2               | 219              | 120              | 170              |
| MittelS1_5          | 10:42:58 | 1,16                        | 6,96                                 | 285            | 2,35 | 1,08  | 0,046  | 339,5             | 337,7             | 17,86             | 19,13             | 38,73 | 41,49 | 31,6              | 30,1               | 380              | 81               | 231              |
| MittelS1_6          | 11:17:53 | 0,90                        | 5,41                                 | 282            | 2,51 | 0,90  | 0,036  | 336,9             | 335,5             | 17,52             | 18,58             | 37,10 | 39,34 | 32,0              | 30,5               | 965              | 80               | 523              |
| MittelS1_7          | 13:16:54 | -0,59                       | -3,54                                | 331            | 2,40 | 1,08  | 0,045  | 322,0             | 322,3             | 16,86             | 18,14             | 36,27 | 39,01 | 31,7              | 29,9               | 56               | 149              | 103              |
| MittelS1_8          | 13:31:26 | 0,79                        | 4,71                                 | 298            | 2,75 | 1,11  | 0,040  | 345,7             | 344,3             | 18,31             | 19,61             | 35,23 | 37,74 | 33,7              | 31,9               | 40               | 248              | 144              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS1_9          | 14:31:45 | 0,10             | 0,61                      | 305 | 3,55 | 1,85  | 0,052 | 327,1             | 326,2             | 16,38             | 18,56             | 27,77 | 31,47 | 36,0              | 34,3               | 106              | 159              | 133              |
| MittelS1_10         | 15:09:47 | 2,61             | 13,05                     | 265 | 2,56 | 2,52  | 0,101 | 323,7             | 319,6             | 14,69             | 17,66             | 30,76 | 36,98 | 32,2              | 30,3               | 73               | 1088             | 581              |
| MittelS1_11         | 16:32:20 | 2,29             | 11,45                     | 268 | 2,31 | 1,21  | 0,053 | 353,8             | 350,5             | 14,55             | 15,98             | 33,20 | 36,47 | 30,7              | 28,6               | 45               | 922              | 484              |
| MittelS1_12         | 17:13:54 | -0,08            | -0,42                     | 319 | 2,36 | 2,68  | 0,117 | 331,0             | 330,0             | 13,27             | 16,44             | 29,65 | 36,72 | 31,1              | 29,0               | 60               | 965              | 513              |
| MittelS1_13         | 18:02:18 | -0,20            | -1,02                     | 319 | 0,98 | 0,69  | 0,072 | 319,2             | 319,1             | 14,62             | 15,43             | 51,16 | 54,02 | 23,4              | 21,3               | 23               | 93               | 58               |
| MittelS1_14         | 19:06:25 | -0,12            | -0,60                     | 360 | 0,68 | 0,20  | 0,030 | 357,1             | 357,2             | 15,58             | 15,82             | 59,54 | 60,46 | 22,0              | 19,6               | 10               | 84               | 47               |
| TiefS1_1            | 6:44:07  | -0,22            | -1,09                     | 361 | 0,42 | 0,44  | 0,108 | 360,1             | 360,2             | 17,41             | 17,93             | 71,69 | 73,81 | 20,8              | 19,2               | 93               | 34               | 64               |
| TiefS1_2            | 7:32:33  | -0,06            | -0,32                     | 362 | 0,48 | 0,07  | 0,015 | 357,7             | 357,7             | 19,81             | 19,90             | 73,34 | 73,66 | 22,5              | 21,0               | 20               | 67               | 44               |
| TiefS1_3            | 8:50:44  | 0,47             | 2,37                      | 297 | 0,61 | 0,09  | 0,015 | 350,9             | 350,3             | 19,06             | 19,17             | 69,29 | 69,68 | 22,8              | 21,3               | 17               | 80               | 49               |
| TiefS1_4            | 9:42:19  | 0,10             | 0,49                      | 316 | 1,74 | 0,48  | 0,028 | 331,2             | 330,9             | 16,84             | 17,41             | 45,41 | 46,94 | 27,8              | 26,6               | 39               | 181              | 110              |
| TiefS1_5            | 10:55:33 | 0,14             | 0,69                      | 315 | 2,61 | 0,68  | 0,026 | 337,9             | 337,4             | 17,35             | 18,15             | 36,30 | 37,97 | 32,2              | 30,8               | 22               | 527              | 275              |
| TiefS1_6            | 11:34:39 | -0,72            | -3,61                     | 400 | 2,45 | 0,32  | 0,013 | 323,1             | 323,9             | 16,80             | 17,17             | 36,96 | 37,79 | 31,3              | 29,7               | 9                | 121              | 65               |
| TiefS1_7            | 13:23:39 | 1,09             | 5,45                      | 272 | 2,58 | 1,11  | 0,043 | 328,3             | 326,5             | 18,38             | 19,69             | 37,97 | 40,68 | 32,5              | 31,3               | 31               | 1071             | 551              |
| TiefS1_8            | 13:39:29 | -1,23            | -6,15                     | 384 | 2,63 | 0,78  | 0,030 | 331,3             | 332,4             | 17,89             | 18,81             | 35,56 | 37,39 | 33,1              | 31,1               | 73               | 35               | 54               |
| TiefS1_9            | 14:41:26 | 1,50             | 7,50                      | 264 | 3,60 | 2,03  | 0,056 | 327,9             | 325,3             | 15,92             | 18,30             | 27,48 | 31,60 | 35,7              | 34,4               | 36               | 638              | 337              |
| TiefS1_10           | 15:15:55 | 0,18             | 0,78                      | 309 | 2,40 | 0,53  | 0,022 | 335,1             | 334,6             | 14,00             | 14,63             | 32,95 | 34,44 | 30,1              | 28,4               | 13               | 124              | 69               |
| TiefS1_11           | 16:40:28 | -0,05            | -0,29                     | 319 | 2,48 | 0,96  | 0,038 | 330,5             | 330,2             | 14,65             | 15,77             | 32,81 | 35,33 | 31,0              | 29,2               | 53               | 189              | 121              |
| TiefS1_12           | 17:20:36 | -1,99            | -11,94                    | 386 | 2,41 | 1,07  | 0,044 | 325,0             | 326,9             | 14,37             | 15,63             | 32,79 | 35,68 | 30,7              | 28,9               | 25               | 128              | 77               |
| TiefS1_13           | 18:06:24 | -0,22            | -1,34                     | 350 | 1,03 | 0,11  | 0,011 | 322,2             | 322,4             | 15,03             | 15,16             | 52,49 | 52,95 | 23,5              | 21,5               | 8                | 86               | 47               |
| TiefS1_14           | 19:17:28 | -0,80            | -4,79                     | 466 | 0,80 | 0,07  | 0,008 | 313,7             | 314,6             | 16,02             | 16,09             | 59,20 | 59,49 | 22,5              | 20,6               | 5                | 30               | 18               |
| FlachS2_1           | 6:27:41  | -1,28            | -4,80                     | 377 | 0,37 | 0,61  | 0,172 | 365,3             | 366,6             | 16,92             | 17,64             | 72,23 | 75,28 | 20,2              | 18,7               | 19               | 66               | 43               |
| FlachS2_2           | 7:16:09  | -0,36            | -1,34                     | 372 | 0,49 | 0,13  | 0,027 | 353,0             | 353,3             | 18,23             | 18,38             | 71,55 | 72,16 | 21,5              | 20,0               | 19               | 81               | 50               |
| FlachS2_3           | 8:36:03  | -0,29            | -1,10                     | 417 | 0,48 | 0,04  | 0,008 | 360,7             | 361,1             | 18,58             | 18,63             | 72,75 | 72,92 | 21,6              | 20,1               | 22               | 59               | 41               |
| FlachS2_5           | 10:39:14 | 0,80             | 3,00                      | 270 | 2,41 | 0,59  | 0,024 | 335,5             | 334,3             | 17,37             | 18,07             | 38,37 | 39,92 | 31,3              | 29,9               | 54               | 130              | 92               |
| FlachS2_6           | 11:11:56 | -0,57            | -2,13                     | 393 | 2,50 | 0,29  | 0,012 | 328,3             | 328,8             | 17,54             | 17,89             | 36,80 | 37,52 | 32,2              | 30,2               | 57               | 116              | 87               |
| FlachS2_7           | 13:12:19 | -0,80            | -2,99                     | 358 | 2,40 | 0,60  | 0,025 | 318,8             | 319,5             | 17,99             | 18,70             | 37,92 | 39,41 | 32,1              | 30,1               | 81               | 77               | 79               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g      | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS2_8           | 13:29:30 | 1,11             | 4,16                      | 223 | 2,87 | 0,55  | 0,019  | 332,2             | 330,7             | 17,71             | 18,35             | 34,57 | 35,84 | 33,5              | 31,8               | 100              | 115              | 108              |
| FlachS2_9           | 14:28:14 | 0,03             | 0,12                      | 298 | 3,57 | 1,30  | 0,036  | 317,5             | 317,0             | 16,67             | 18,20             | 28,05 | 30,63 | 36,1              | 34,2               | 898              | 108              | 503              |
| FlachS2_10          | 15:07:28 | 0,87             | 3,74                      | 236 | 2,90 | 0,53  | 0,018  | 327,9             | 326,7             | 14,96             | 15,59             | 30,50 | 31,78 | 32,7              | 30,9               | 650              | 87               | 369              |
| FlachS2_11          | 16:28:12 | 1,21             | 5,19                      | 293 | 2,46 | 0,97  | 0,039  | 357,6             | 355,8             | 14,33             | 15,47             | 32,26 | 34,83 | 30,9              | 29,0               | 119              | 29               | 74               |
| FlachS2_12          | 17:08:05 | 1,46             | 6,26                      | 282 | 2,58 | 1,69  | 0,066  | 333,5             | 331,0             | 14,48             | 16,47             | 31,44 | 35,77 | 31,6              | 30,0               | 126              | 78               | 102              |
| FlachS2_13          | 18:00:00 | -0,38            | -1,61                     | 410 | 1,12 | 0,07  | 0,006  | 319,9             | 320,4             | 14,29             | 14,37             | 49,45 | 49,74 | 23,6              | 21,5               | 9                | 32               | 21               |
| FlachS2_14          | 19:04:17 | -1,33            | -5,70                     | 488 | 0,68 | 0,11  | 0,017  | 363,7             | 365,2             | 15,56             | 15,70             | 59,45 | 59,96 | 22,0              | 19,5               | 6                | 15               | 11               |
| FlachS2_15          | 19:34:46 | -0,13            | -0,54                     | 426 | 0,72 | 0,02  | 0,003  | 358,1             | 358,2             | 16,93             | 16,96             | 60,34 | 60,42 | 23,1              | 20,6               | 9                | 8                | 9                |
| MittelS2_1          | 6:36:43  | -0,82            | -3,52                     | 385 | 0,41 | 0,30  | 0,075  | 368,6             | 369,5             | 17,23             | 17,58             | 72,62 | 74,09 | 20,4              | 18,9               | 25               | 47               | 36               |
| MittelS2_2          | 7:28:20  | 0,97             | 4,15                      | 309 | 0,48 | 0,13  | 0,027  | 371,5             | 370,3             | 19,22             | 19,37             | 73,19 | 73,76 | 22,0              | 20,6               | 40               | 500              | 270              |
| MittelS2_3          | 8:44:00  | 0,15             | 0,64                      | 338 | 0,55 | 0,20  | 0,036  | 348,0             | 347,7             | 18,67             | 18,91             | 69,60 | 70,48 | 22,4              | 20,8               | 33               | 77               | 55               |
| MittelS2_4          | 9:38:39  | 1,77             | 7,59                      | 263 | 1,56 | 0,71  | 0,046  | 335,9             | 333,4             | 16,79             | 17,62             | 46,74 | 49,07 | 27,3              | 25,9               | 92               | 517              | 305              |
| MittelS2_5          | 10:47:24 | 1,31             | 5,61                      | 300 | 2,49 | 1,59  | 0,064  | 349,1             | 346,9             | 17,70             | 19,57             | 37,39 | 41,35 | 32,1              | 30,9               | 60               | 953              | 507              |
| MittelS2_6          | 11:24:18 | -1,20            | -5,14                     | 398 | 2,46 | 0,56  | 0,023  | 325,3             | 326,5             | 17,58             | 18,24             | 38,12 | 39,55 | 31,6              | 30,2               | 33               | 84               | 59               |
| MittelS2_7          | 13:21:05 | -0,03            | -0,11                     | 317 | 2,32 | 0,92  | 0,040  | 328,6             | 328,3             | 17,14             | 18,23             | 37,19 | 39,55 | 31,6              | 29,6               | 78               | 640              | 359              |
| MittelS2_8          | 13:34:56 | -1,07            | -4,59                     | 373 | 2,77 | 0,85  | 0,030  | 330,8             | 331,7             | 18,13             | 19,13             | 34,85 | 36,77 | 33,7              | 31,8               | 84               | 64               | 74               |
| MittelS2_9          | 14:37:38 | -0,70            | -3,00                     | 318 | 3,48 | 1,85  | 0,053  | 314,7             | 314,8             | 14,89             | 17,07             | 26,08 | 29,90 | 35,4              | 33,5               | 116              | 117              | 117              |
| MittelS2_10         | 15:12:08 | 0,11             | 0,48                      | 306 | 2,40 | 1,33  | 0,056  | 322,6             | 321,9             | 14,17             | 15,74             | 31,56 | 35,05 | 31,1              | 28,9               | 95               | 71               | 83               |
| MittelS2_11         | 16:35:05 | 1,40             | 6,00                      | 300 | 2,32 | 1,58  | 0,069  | 347,6             | 345,2             | 13,85             | 15,71             | 31,78 | 36,06 | 30,6              | 28,5               | 724              | 77               | 401              |
| MittelS2_12         | 17:16:12 | 2,28             | 9,77                      | 280 | 2,24 | 2,58  | 0,118  | 326,9             | 323,2             | 13,46             | 16,50             | 30,36 | 37,22 | 30,9              | 28,5               | 894              | 86               | 490              |
| MittelS2_13         | 18:03:59 | 0,19             | 0,82                      | 320 | 0,91 | 0,48  | 0,053  | 331,6             | 331,1             | 14,63             | 15,20             | 51,58 | 53,57 | 23,3              | 20,7               | 331              | 40               | 186              |
| MittelS2_14         | 19:09:33 | -0,46            | -1,95                     | 366 | 0,68 | 0,38  | 0,058  | 356,3             | 356,7             | 15,45             | 15,90             | 58,24 | 59,94 | 22,2              | 19,6               | 19               | 19               | 19               |
| TiefS2_1            | 6:49:14  | -0,06            | -0,24                     | 365 | 0,45 | -0,23 | -0,050 | 368,8             | 369,0             | 18,31             | 18,04             | 74,30 | 73,19 | 21,0              | 19,5               | 22               | 170              | 96               |
| TiefS2_2            | 7:37:35  | -0,56            | -2,41                     | 411 | 0,57 | 0,38  | 0,067  | 400,3             | 400,8             | 19,56             | 20,00             | 69,83 | 71,42 | 23,1              | 21,6               | 28               | 475              | 252              |
| TiefS2_3            | 8:54:55  | 0,53             | 2,25                      | 350 | 0,61 | 0,35  | 0,058  | 368,8             | 368,0             | 18,84             | 19,25             | 67,93 | 69,42 | 22,9              | 21,4               | 68               | 76               | 72               |
| TiefS2_4            | 9:45:32  | 1,12             | 4,80                      | 293 | 1,67 | 1,02  | 0,061  | 332,8             | 331,0             | 17,14             | 18,34             | 45,25 | 48,42 | 28,2              | 26,8               | 114              | 217              | 166              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS2_5            | 10:58:49 | 1,84             | 7,89                      | 278 | 2,64 | 1,67  | 0,064 | 340,9             | 338,0             | 16,95             | 18,92             | 35,06 | 39,13 | 32,4              | 31,2               | 79               | 1023             | 551              |
| TiefS2_6            | 11:44:35 | 0,26             | 1,11                      | 309 | 2,15 | 0,30  | 0,014 | 351,7             | 351,3             | 17,10             | 17,46             | 40,60 | 41,44 | 30,0              | 28,5               | 56               | 89               | 73               |
| TiefS2_7            | 13:25:41 | 3,44             | 14,74                     | 240 | 2,59 | 1,73  | 0,067 | 340,7             | 335,9             | 18,03             | 20,07             | 36,30 | 40,41 | 32,9              | 31,4               | 86               | 210              | 148              |
| TiefS2_8            | 13:43:40 | -1,09            | -4,67                     | 352 | 2,48 | 1,03  | 0,041 | 321,8             | 322,7             | 17,81             | 19,02             | 36,35 | 38,82 | 32,7              | 30,6               | 70               | 76               | 73               |
| TiefS2_9            | 14:46:14 | 0,49             | 2,10                      | 296 | 2,98 | 2,58  | 0,088 | 321,9             | 320,4             | 15,40             | 18,43             | 28,96 | 34,67 | 34,1              | 32,3               | 105              | 85               | 95               |
| TiefS2_10           | 15:20:27 | 0,01             | 0,04                      | 342 | 2,03 | 1,21  | 0,060 | 354,7             | 354,2             | 13,48             | 14,91             | 34,02 | 37,64 | 28,9              | 26,8               | 93               | 43               | 68               |
| TiefS2_11           | 16:43:23 | 0,26             | 1,11                      | 301 | 2,41 | 1,33  | 0,055 | 321,9             | 321,0             | 13,95             | 15,52             | 31,65 | 35,21 | 30,8              | 28,8               | 448              | 79               | 264              |
| TiefS2_12           | 17:23:06 | 0,09             | 0,37                      | 311 | 2,37 | 1,21  | 0,051 | 326,1             | 325,5             | 14,06             | 15,50             | 32,59 | 35,92 | 30,4              | 28,6               | 102              | 66               | 84               |
| TiefS2_13           | 18:11:38 | 0,67             | 2,51                      | 283 | 1,02 | 0,24  | 0,023 | 335,5             | 334,6             | 15,04             | 15,33             | 51,55 | 52,51 | 23,8              | 21,5               | 224              | 47               | 136              |
| TiefS2_14           | 19:23:41 | -0,24            | -0,89                     | 348 | 0,81 | 0,15  | 0,019 | 331,4             | 331,6             | 15,97             | 16,15             | 58,65 | 59,30 | 22,6              | 20,7               | 44               | 18               | 31               |

**Tabelle A IX:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Pobedilowo am 17.08.2004 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 7:19:52  | -0,08            | -0,27                     | 371 | 0,60 | 0,04  | 0,007 | 354,2             | 354,3             | 15,08             | 15,13             | 65,03 | 65,23 | 19,9              | 18,4               | 18               | 41               | 30               |
| FlachS1_2           | 8:12:56  | -0,17            | -0,57                     | 362 | 0,90 | 0,26  | 0,029 | 357,4             | 357,5             | 14,93             | 15,24             | 56,29 | 57,47 | 22,1              | 20,6               | 77               | 47               | 62               |
| FlachS1_3           | 9:17:19  | 0,90             | 3,00                      | 305 | 1,02 | 0,36  | 0,035 | 353,4             | 352,2             | 15,35             | 15,77             | 55,94 | 57,48 | 22,7              | 21,7               | 155              | 81               | 118              |
| FlachS1_4           | 10:09:45 | 0,61             | 2,02                      | 306 | 1,36 | 0,40  | 0,030 | 347,4             | 346,5             | 14,86             | 15,33             | 47,89 | 49,43 | 24,8              | 23,5               | 28               | 93               | 61               |
| FlachS1_5           | 11:11:09 | 0,58             | 1,92                      | 311 | 1,60 | 0,79  | 0,050 | 339,0             | 338,0             | 15,30             | 16,24             | 44,11 | 46,81 | 26,7              | 25,3               | 43               | 105              | 74               |
| FlachS1_6           | 12:16:00 | 2,74             | 9,13                      | 214 | 2,88 | 1,36  | 0,047 | 324,7             | 320,8             | 13,63             | 15,23             | 28,71 | 32,09 | 32,1              | 30,6               | 1080             | 67               | 574              |
| FlachS1_7           | 13:18:49 | 1,87             | 7,01                      | 229 | 2,67 | 0,87  | 0,033 | 336,9             | 334,3             | 14,10             | 15,13             | 31,37 | 33,66 | 31,1              | 29,7               | 90               | 173              | 132              |
| FlachS1_8           | 14:19:02 | 1,03             | 4,41                      | 257 | 2,27 | 0,63  | 0,028 | 329,9             | 328,4             | 14,30             | 15,04             | 35,11 | 36,93 | 29,4              | 28,0               | 68               | 101              | 85               |
| FlachS1_9           | 15:18:00 | 1,32             | 5,66                      | 247 | 2,68 | 0,85  | 0,032 | 328,8             | 326,9             | 14,43             | 15,44             | 32,35 | 34,61 | 31,0              | 29,9               | 98               | 107              | 103              |
| FlachS1_10          | 16:09:22 | 0,25             | 1,07                      | 283 | 2,82 | 0,35  | 0,012 | 329,8             | 329,4             | 14,50             | 14,91             | 30,93 | 31,82 | 31,9              | 30,3               | 59               | 226              | 143              |
| FlachS1_11          | 17:13:31 | 0,47             | 2,03                      | 254 | 3,50 | 0,41  | 0,012 | 336,6             | 335,9             | 14,38             | 14,87             | 28,90 | 29,88 | 32,9              | 32,8               | 33               | 819              | 426              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_12          | 18:11:35 | 0,12             | 0,52                      | 318 | 2,28 | 0,38  | 0,017 | 342,2             | 341,9             | 17,04             | 17,49             | 40,27 | 41,33 | 30,1              | 29,1               | 15               | 589              | 302              |
| FlachS1_13          | 19:57:27 | -0,13            | -0,54                     | 394 | 0,87 | 0,08  | 0,009 | 376,0             | 376,1             | 16,34             | 16,43             | 58,10 | 58,42 | 23,1              | 21,2               | 2                | 9                | 6                |
| MittelS1_1          | 7:29:16  | 0,74             | 2,47                      | 282 | 0,83 | 0,17  | 0,020 | 345,4             | 344,5             | 14,97             | 15,17             | 57,97 | 58,74 | 21,7              | 20,1               | 207              | 53               | 130              |
| MittelS1_2          | 8:23:03  | 1,40             | 4,67                      | 255 | 1,19 | 0,30  | 0,025 | 353,1             | 351,3             | 15,39             | 15,74             | 51,04 | 52,21 | 24,3              | 22,7               | 104              | 91               | 98               |
| MittelS1_3          | 9:23:52  | 0,81             | 2,70                      | 278 | 1,36 | 0,31  | 0,023 | 342,4             | 341,3             | 14,52             | 14,89             | 46,73 | 47,93 | 24,8              | 23,2               | 47               | 166              | 107              |
| MittelS1_4          | 10:16:09 | 0,31             | 1,04                      | 333 | 1,68 | 0,45  | 0,027 | 361,5             | 360,9             | 14,97             | 15,51             | 42,83 | 44,36 | 26,8              | 25,4               | 51               | 100              | 76               |
| MittelS1_5          | 11:17:25 | 0,40             | 1,33                      | 297 | 2,01 | 0,40  | 0,020 | 340,5             | 339,9             | 14,41             | 14,88             | 37,71 | 38,95 | 28,3              | 26,7               | 63               | 113              | 88               |
| MittelS1_6          | 12:28:38 | 3,33             | 12,49                     | 16  | 3,28 | 0,58  | 0,018 | 335,5             | 331,2             | 14,48             | 15,17             | 28,33 | 29,69 | 33,4              | 32,2               | 77               | 994              | 536              |
| MittelS1_7          | 13:24:21 | 4,20             | 15,75                     | 156 | 2,90 | 1,31  | 0,045 | 323,7             | 318,2             | 14,13             | 15,67             | 30,02 | 33,31 | 31,9              | 30,9               | 894              | 114              | 504              |
| MittelS1_8          | 14:25:56 | 1,99             | 7,46                      | 213 | 2,66 | 0,84  | 0,032 | 329,8             | 327,1             | 14,40             | 15,39             | 32,52 | 34,77 | 30,9              | 29,8               | 35               | 224              | 130              |
| MittelS1_9          | 15:24:17 | 2,64             | 9,90                      | 207 | 3,11 | 1,21  | 0,039 | 334,1             | 330,5             | 14,27             | 15,70             | 28,54 | 31,41 | 33,0              | 31,7               | 55               | 1175             | 615              |
| MittelS1_10         | 16:16:26 | 2,79             | 10,46                     | 160 | 3,14 | 0,92  | 0,029 | 331,1             | 327,4             | 14,66             | 15,75             | 30,02 | 32,25 | 32,6              | 31,8               | 46               | 1395             | 721              |
| MittelS1_11         | 17:19:58 | 0,44             | 1,65                      | 266 | 3,29 | 0,44  | 0,013 | 337,2             | 336,5             | 13,61             | 14,13             | 26,91 | 27,93 | 33,2              | 31,8               | 40               | 438              | 239              |
| MittelS1_12         | 18:19:00 | 0,16             | 0,60                      | 264 | 2,32 | 0,10  | 0,004 | 333,3             | 333,0             | 17,75             | 17,88             | 41,33 | 41,61 | 30,3              | 29,4               | 14               | 194              | 104              |
| MittelS1_13         | 19:54:59 | -0,16            | -0,61                     | 385 | 0,83 | 0,11  | 0,013 | 370,1             | 370,2             | 16,65             | 16,78             | 58,95 | 59,41 | 23,2              | 21,2               | 2                | 13               | 8                |
| TiefS1_1            | 7:37:08  | 1,21             | 5,19                      | 293 | 0,99 | 0,34  | 0,035 | 356,3             | 354,7             | 14,69             | 15,09             | 53,15 | 54,61 | 22,8              | 21,1               | 538              | 66               | 302              |
| TiefS1_2            | 8:32:54  | 0,61             | 2,60                      | 306 | 1,39 | 0,33  | 0,024 | 356,1             | 355,3             | 14,16             | 14,55             | 44,50 | 45,72 | 25,2              | 23,2               | 35               | 79               | 57               |
| TiefS1_3            | 9:30:42  | 0,91             | 3,89                      | 293 | 1,62 | 0,48  | 0,030 | 351,9             | 350,6             | 14,43             | 15,00             | 42,36 | 44,03 | 26,3              | 24,8               | 70               | 113              | 92               |
| TiefS1_4            | 10:24:52 | 0,73             | 3,12                      | 280 | 1,98 | 0,46  | 0,023 | 342,1             | 341,0             | 14,89             | 15,42             | 38,47 | 39,86 | 28,5              | 26,8               | 55               | 346              | 201              |
| TiefS1_5            | 11:26:52 | 0,65             | 2,77                      | 298 | 2,62 | 0,83  | 0,032 | 346,3             | 345,1             | 14,83             | 15,82             | 33,64 | 35,87 | 30,8              | 29,8               | 49               | 696              | 373              |
| TiefS1_6            | 12:35:30 | 0,35             | 1,51                      | 301 | 3,39 | 1,09  | 0,032 | 337,9             | 337,0             | 13,91             | 15,20             | 25,97 | 28,39 | 34,2              | 32,5               | 88               | 202              | 145              |
| TiefS1_7            | 13:30:38 | 1,82             | 7,80                      | 228 | 3,11 | 1,20  | 0,038 | 321,6             | 318,9             | 14,14             | 15,56             | 28,03 | 30,83 | 33,2              | 31,7               | 98               | 346              | 222              |
| TiefS1_8            | 14:33:04 | 0,46             | 1,99                      | 280 | 3,07 | 0,52  | 0,017 | 340,6             | 339,8             | 13,84             | 14,46             | 29,75 | 31,07 | 31,7              | 31,1               | 69               | 1222             | 646              |
| TiefS1_9            | 15:35:12 | 1,57             | 6,73                      | 214 | 3,40 | 0,80  | 0,023 | 339,9             | 337,7             | 13,07             | 14,02             | 26,55 | 28,47 | 32,7              | 32,1               | 35               | 868              | 452              |
| TiefS1_10           | 16:26:36 | 1,38             | 5,91                      | 208 | 3,55 | 0,73  | 0,020 | 335,5             | 333,6             | 13,43             | 14,29             | 26,92 | 28,65 | 33,0              | 32,8               | 41               | 987              | 514              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS1_11           | 17:26:35 | 1,65             | 7,07                      | 103 | 3,07 | 0,39  | 0,013 | 326,3             | 324,2             | 14,54             | 15,00             | 29,90 | 30,85 | 32,5              | 31,3               | 34               | 192              | 113              |
| TiefS1_12           | 18:33:20 | -0,12            | -0,51                     | 347 | 2,12 | 0,25  | 0,012 | 341,7             | 341,7             | 15,67             | 15,96             | 38,29 | 39,00 | 29,5              | 27,7               | 13               | 190              | 102              |
| TiefS1_13           | 19:48:58 | -0,38            | -1,63                     | 538 | 0,92 | 0,03  | 0,003 | 351,2             | 351,6             | 16,09             | 16,12             | 57,05 | 57,17 | 23,2              | 21,4               | 4                | 13               | 9                |
| FlachS2_1           | 7:23:32  | -0,45            | -1,91                     | 396 | 0,70 | 0,10  | 0,014 | 348,2             | 348,7             | 14,79             | 14,90             | 60,96 | 61,44 | 20,7              | 19,0               | 17               | 77               | 47               |
| FlachS2_2           | 8:17:47  | 1,69             | 7,24                      | 240 | 1,11 | 0,30  | 0,027 | 349,1             | 347,0             | 15,18             | 15,54             | 53,60 | 54,85 | 23,2              | 22,2               | 42               | 1127             | 585              |
| FlachS2_3           | 9:20:47  | 0,19             | 0,81                      | 325 | 1,18 | 0,34  | 0,029 | 342,5             | 342,1             | 14,98             | 15,38             | 50,39 | 51,75 | 24,0              | 22,5               | 18               | 703              | 361              |
| FlachS2_4           | 10:12:39 | 1,10             | 4,71                      | 265 | 1,52 | 0,37  | 0,024 | 346,6             | 345,1             | 15,20             | 15,64             | 46,39 | 47,72 | 25,7              | 24,6               | 35               | 908              | 472              |
| FlachS2_5           | 11:13:46 | 1,19             | 5,10                      | 234 | 1,82 | 0,38  | 0,021 | 336,3             | 334,7             | 14,82             | 15,27             | 41,03 | 42,27 | 27,3              | 26,0               | 37               | 182              | 110              |
| FlachS2_6           | 12:22:19 | 2,03             | 8,70                      | 241 | 2,97 | 1,37  | 0,046 | 329,2             | 326,3             | 13,71             | 15,33             | 28,01 | 31,32 | 32,6              | 31,0               | 16               | 542              | 279              |
| FlachS2_7           | 13:21:11 | 0,05             | 0,23                      | 306 | 2,75 | 0,33  | 0,012 | 328,0             | 327,8             | 13,92             | 14,30             | 30,32 | 31,16 | 31,5              | 29,7               | 51               | 123              | 87               |
| FlachS2_8           | 14:23:08 | 0,00             | -0,01                     | 319 | 2,47 | 0,42  | 0,017 | 331,9             | 331,7             | 13,81             | 14,31             | 32,44 | 33,62 | 30,2              | 28,6               | 71               | 76               | 74               |
| FlachS2_9           | 15:21:27 | 0,28             | 1,21                      | 264 | 2,94 | 0,32  | 0,011 | 320,6             | 320,2             | 14,84             | 15,22             | 30,91 | 31,71 | 32,3              | 30,9               | 53               | 195              | 124              |
| FlachS2_10          | 16:13:43 | 0,25             | 1,06                      | 237 | 2,88 | 0,14  | 0,005 | 331,3             | 330,9             | 15,06             | 15,23             | 31,60 | 31,95 | 32,2              | 30,7               | 69               | 63               | 66               |
| FlachS2_11          | 17:16:48 | -0,02            | -0,07                     | 319 | 3,24 | 0,14  | 0,004 | 330,8             | 330,8             | 13,99             | 14,16             | 27,72 | 28,06 | 33,2              | 31,6               | 563              | 51               | 307              |
| FlachS2_12          | 18:17:19 | -0,02            | -0,10                     | 331 | 2,15 | 0,11  | 0,005 | 335,3             | 335,2             | 17,14             | 17,27             | 39,94 | 40,24 | 30,3              | 28,5               | 305              | 37               | 171              |
| FlachS2_13          | 19:56:21 | -0,12            | -0,52                     | 380 | 0,85 | 0,15  | 0,018 | 373,6             | 373,6             | 16,46             | 16,63             | 58,47 | 59,09 | 23,2              | 21,2               | 7                | 4                | 6                |
| MittelS2_1          | 7:31:51  | 0,68             | 2,91                      | 306 | 0,88 | 0,29  | 0,034 | 343,7             | 342,7             | 14,97             | 15,32             | 56,57 | 57,88 | 22,1              | 20,5               | 37               | 153              | 95               |
| MittelS2_2          | 8:26:54  | 0,90             | 3,85                      | 287 | 1,52 | 0,39  | 0,026 | 352,6             | 351,4             | 15,53             | 16,00             | 48,34 | 49,78 | 25,3              | 24,8               | 40               | 318              | 179              |
| MittelS2_3          | 9:26:34  | 1,42             | 6,09                      | 241 | 1,47 | 0,39  | 0,026 | 337,3             | 335,5             | 14,72             | 15,18             | 45,57 | 46,99 | 25,4              | 24,0               | 58               | 978              | 518              |
| MittelS2_4          | 10:22:01 | 0,72             | 3,09                      | 275 | 1,87 | 0,43  | 0,023 | 336,9             | 335,9             | 14,90             | 15,40             | 39,80 | 41,14 | 27,9              | 26,3               | 40               | 317              | 179              |
| MittelS2_5          | 11:20:35 | 0,54             | 2,30                      | 277 | 2,18 | 0,39  | 0,018 | 337,4             | 336,6             | 14,34             | 14,80             | 35,99 | 37,14 | 29,0              | 27,5               | 644              | 93               | 369              |
| MittelS2_6          | 12:32:14 | 0,28             | 1,18                      | 307 | 3,32 | 1,09  | 0,033 | 338,6             | 337,8             | 14,60             | 15,89             | 27,25 | 29,66 | 34,2              | 32,5               | 33               | 93               | 63               |
| MittelS2_7          | 13:28:01 | 0,43             | 1,84                      | 271 | 3,08 | 0,62  | 0,020 | 321,7             | 321,0             | 14,53             | 15,26             | 29,34 | 30,82 | 32,8              | 31,4               | 53               | 354              | 204              |
| MittelS2_8          | 14:28:46 | 0,51             | 2,17                      | 273 | 2,72 | 0,56  | 0,021 | 327,3             | 326,5             | 14,00             | 14,66             | 30,55 | 32,00 | 31,5              | 29,8               | 56               | 44               | 50               |
| MittelS2_9          | 15:29:07 | 1,50             | 6,43                      | 208 | 3,16 | 0,69  | 0,022 | 336,1             | 334,1             | 13,86             | 14,68             | 27,24 | 28,85 | 33,3              | 31,5               | 62               | 53               | 58               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS2_10         | 16:21:35 | 0,02             | 0,07                      | 312 | 3,05 | 0,46  | 0,015 | 329,8             | 329,6             | 13,75             | 14,29             | 28,07 | 29,18 | 32,6              | 30,9               | 46               | 62               | 54               |
| MittelS2_11         | 17:22:26 | -0,25            | -1,08                     | 338 | 3,14 | 0,45  | 0,014 | 326,4             | 326,5             | 13,78             | 14,32             | 27,58 | 28,65 | 33,0              | 31,3               | 144              | 40               | 92               |
| MittelS2_12         | 18:30:08 | -0,25            | -1,51                     | 366 | 2,09 | 0,34  | 0,016 | 353,2             | 353,3             | 16,36             | 16,76             | 39,32 | 40,29 | 29,8              | 27,9               | 15               | 37               | 26               |
| MittelS2_13         | 19:53:34 | -0,81            | -4,84                     | 428 | 0,84 | 0,17  | 0,020 | 368,4             | 369,3             | 16,79             | 17,00             | 59,39 | 60,11 | 23,2              | 21,4               | 4                | 10               | 7                |
| TiefS2_1            | 7:42:00  | 1,18             | 3,93                      | 246 | 1,07 | 0,22  | 0,021 | 345,6             | 344,1             | 14,69             | 14,95             | 51,77 | 52,69 | 23,2              | 21,5               | 39               | 115              | 77               |
| TiefS2_2            | 8:37:17  | 1,68             | 5,60                      | 256 | 1,44 | 0,42  | 0,029 | 358,3             | 356,1             | 14,57             | 15,06             | 45,36 | 46,90 | 25,3              | 23,8               | 80               | 1189             | 635              |
| TiefS2_3            | 9:33:47  | 0,56             | 1,88                      | 307 | 1,64 | 0,58  | 0,035 | 342,2             | 341,3             | 14,24             | 14,93             | 41,06 | 43,03 | 26,6              | 24,9               | 69               | 241              | 155              |
| TiefS2_4            | 10:29:10 | 2,60             | 8,67                      | 241 | 2,18 | 1,14  | 0,053 | 335,0             | 331,4             | 15,06             | 16,41             | 37,03 | 40,35 | 29,4              | 28,2               | 20               | 1014             | 517              |
| TiefS2_5            | 11:34:23 | -0,69            | -2,31                     | 351 | 2,66 | 0,84  | 0,031 | 329,2             | 329,7             | 14,14             | 15,13             | 30,68 | 32,83 | 31,6              | 29,7               | 62               | 156              | 109              |
| TiefS2_6            | 12:40:53 | 0,02             | 0,07                      | 311 | 3,31 | 0,70  | 0,021 | 330,1             | 329,8             | 13,50             | 14,33             | 26,19 | 27,79 | 33,6              | 32,0               | 76               | 700              | 388              |
| TiefS2_7            | 13:33:33 | 1,23             | 4,10                      | 254 | 3,23 | 1,10  | 0,034 | 329,9             | 328,0             | 13,57             | 14,87             | 26,31 | 28,83 | 33,6              | 31,8               | 32               | 941              | 487              |
| TiefS2_8            | 14:35:18 | 0,16             | 0,53                      | 304 | 2,84 | 0,58  | 0,020 | 331,8             | 331,4             | 13,77             | 14,46             | 29,38 | 30,83 | 31,9              | 30,2               | 74               | 67               | 71               |
| TiefS2_9            | 15:40:36 | 0,93             | 3,10                      | 241 | 3,29 | 0,67  | 0,020 | 331,9             | 330,6             | 13,24             | 14,03             | 26,32 | 27,91 | 33,1              | 31,7               | 1096             | 97               | 597              |
| TiefS2_10           | 16:28:05 | 1,20             | 4,00                      | 229 | 3,17 | 0,73  | 0,023 | 330,1             | 328,3             | 13,28             | 14,14             | 26,72 | 28,46 | 32,9              | 31,4               | 1234             | 74               | 654              |
| TiefS2_11           | 17:31:42 | -0,40            | -1,34                     | 360 | 2,97 | 0,39  | 0,013 | 326,1             | 326,4             | 14,65             | 15,11             | 30,20 | 31,15 | 32,5              | 30,9               | 56               | 70               | 63               |
| TiefS2_12           | 18:38:03 | 1,43             | 4,77                      | 213 | 2,12 | 0,45  | 0,021 | 332,9             | 331,0             | 15,41             | 15,95             | 37,84 | 39,15 | 29,4              | 27,7               | 340              | 34               | 187              |
| TiefS2_13           | 19:51:42 | -0,69            | -2,31                     | 438 | 0,89 | 0,12  | 0,014 | 362,4             | 363,2             | 16,33             | 16,48             | 57,76 | 58,28 | 23,2              | 21,4               | 3                | 9                | 6                |

**Tabelle A X:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly am 6.08.2004 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | J <sub>CO<sub>2</sub></sub> | J <sub>CO<sub>2</sub></sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 6:08:48  | 0,13                        | 0,48                                 | 330 | 0,61 | 0,03  | 0,005 | 374,8             | 374,6             | 15,28             | 15,32             | 65,01 | 65,16 | 20,3              | 18,7               | 4                | 26               | 15               |
| FlachS1_2           | 7:13:18  | 1,84                        | 6,90                                 | 178 | 0,57 | 0,10  | 0,018 | 343,5             | 341,3             | 15,67             | 15,79             | 66,19 | 66,71 | 20,4              | 18,8               | 33               | 53               | 43               |
| FlachS1_3           | 8:05:41  | 0,60                        | 2,25                                 | 327 | 1,07 | 0,58  | 0,055 | 351,4             | 350,5             | 16,68             | 17,36             | 55,14 | 57,39 | 24,5              | 23,1               | 64               | 63               | 64               |
| FlachS1_4           | 9:09:28  | 0,12                        | 0,47                                 | 319 | 1,35 | 0,74  | 0,055 | 330,3             | 329,9             | 18,17             | 19,03             | 52,19 | 54,68 | 26,8              | 25,6               | 140              | 69               | 105              |
| FlachS1_5           | 10:12:44 | 1,19                        | 4,46                                 | 282 | 1,73 | 0,71  | 0,041 | 338,7             | 337,0             | 19,78             | 20,61             | 48,76 | 50,81 | 29,5              | 28,2               | 699              | 80               | 390              |
| FlachS1_6           | 11:10:05 | 1,22                        | 4,58                                 | 268 | 2,14 | 0,72  | 0,034 | 338,1             | 336,3             | 20,51             | 21,36             | 45,08 | 46,94 | 31,5              | 30,2               | 58               | 83               | 71               |
| FlachS1_7           | 12:06:54 | -0,18                       | -0,69                                | 320 | 3,69 | 1,20  | 0,032 | 331,1             | 330,8             | 20,24             | 21,66             | 32,54 | 34,81 | 37,1              | 35,8               | 843              | 95               | 469              |
| FlachS1_8           | 13:05:27 | 1,28                        | 5,49                                 | 280 | 3,72 | 2,54  | 0,069 | 331,8             | 329,3             | 19,19             | 22,17             | 30,17 | 34,85 | 37,5              | 36,0               | 451              | 94               | 273              |
| FlachS1_9           | 14:08:06 | -1,92                       | -8,23                                | 418 | 4,09 | 1,17  | 0,028 | 332,0             | 333,8             | 17,17             | 18,55             | 26,80 | 28,95 | 37,6              | 36,0               | 207              | 89               | 148              |
| FlachS1_10          | 15:06:21 | 0,09                        | 0,40                                 | 310 | 3,05 | 1,84  | 0,061 | 329,0             | 328,2             | 18,29             | 20,45             | 32,76 | 36,63 | 35,1              | 33,3               | 68               | 80               | 74               |
| FlachS1_11          | 16:19:09 | 0,40                        | 1,51                                 | 266 | 3,53 | 0,43  | 0,012 | 337,3             | 336,7             | 16,52             | 17,03             | 28,80 | 29,69 | 35,6              | 33,7               | 37               | 177              | 107              |
| FlachS1_12          | 17:03:25 | 3,02                        | 11,33                                | 218 | 3,38 | 1,88  | 0,056 | 326,0             | 321,6             | 16,71             | 18,92             | 30,21 | 34,20 | 34,9              | 33,9               | 1054             | 76               | 565              |
| FlachS1_13          | 18:12:52 | -0,50                       | -1,89                                | 498 | 2,75 | 0,11  | 0,004 | 308,2             | 308,8             | 18,61             | 18,73             | 36,49 | 36,74 | 33,5              | 31,6               | 33               | 107              | 70               |
| FlachS1_14          | 18:51:53 | -0,79                       | -2,97                                | 449 | 2,50 | 0,22  | 0,009 | 315,1             | 316,0             | 21,31             | 21,56             | 41,75 | 42,25 | 33,5              | 31,7               | 21               | 46               | 34               |
| MittelS1_1          | 6:22:43  | 0,22                        | 0,95                                 | 333 | 0,68 | 0,09  | 0,014 | 363,2             | 362,9             | 15,09             | 15,20             | 62,34 | 62,79 | 20,8              | 19,1               | 12               | 29               | 21               |
| MittelS1_2          | 7:22:47  | -0,34                       | -1,46                                | 393 | 0,81 | 0,33  | 0,041 | 384,6             | 384,9             | 16,05             | 16,43             | 59,89 | 61,34 | 22,5              | 20,9               | 155              | 55               | 105              |
| MittelS1_3          | 8:15:24  | 1,18                        | 5,06                                 | 288 | 1,24 | 0,60  | 0,049 | 334,9             | 333,3             | 16,74             | 17,45             | 51,70 | 53,87 | 25,6              | 24,1               | 289              | 66               | 178              |
| MittelS1_4          | 9:17:54  | 1,95                        | 8,36                                 | 282 | 1,56 | 1,00  | 0,065 | 341,0             | 338,3             | 17,93             | 19,11             | 47,97 | 51,11 | 28,1              | 26,6               | 109              | 83               | 96               |
| MittelS1_5          | 10:24:34 | 0,67                        | 2,85                                 | 307 | 1,98 | 1,15  | 0,059 | 336,7             | 335,4             | 19,89             | 21,25             | 44,99 | 48,05 | 31,0              | 29,5               | 54               | 434              | 244              |
| MittelS1_6          | 11:21:53 | 1,00                        | 4,29                                 | 317 | 2,47 | 1,59  | 0,065 | 357,3             | 355,4             | 20,25             | 22,12             | 40,13 | 43,83 | 33,3              | 31,8               | 204              | 96               | 150              |
| MittelS1_7          | 12:18:35 | -0,58                       | -2,48                                | 321 | 3,41 | 1,56  | 0,046 | 317,5             | 317,6             | 19,26             | 21,09             | 31,96 | 35,00 | 36,5              | 34,7               | 41               | 119              | 80               |
| MittelS1_8          | 13:24:21 | 0,44                        | 1,90                                 | 304 | 3,48 | 2,47  | 0,072 | 333,2             | 331,6             | 17,51             | 20,41             | 29,58 | 34,48 | 36,2              | 34,7               | 92               | 102              | 97               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS1_9          | 14:13:29 | 1,07             | 4,59                      | 287 | 4,01 | 2,22  | 0,055 | 341,8             | 339,6             | 17,92             | 20,53             | 27,71 | 31,74 | 37,8              | 36,4               | 1071             | 57               | 564              |
| MittelS1_10         | 15:23:12 | 0,04             | 0,18                      | 311 | 3,23 | 1,88  | 0,058 | 329,3             | 328,5             | 16,98             | 19,19             | 30,21 | 34,14 | 35,2              | 33,5               | 54               | 216              | 135              |
| MittelS1_11         | 16:26:10 | 0,51             | 2,20                      | 297 | 3,21 | 1,96  | 0,061 | 328,2             | 326,8             | 16,96             | 19,27             | 30,35 | 34,47 | 35,1              | 33,4               | 42               | 852              | 447              |
| MittelS1_12         | 17:15:11 | -0,53            | -2,27                     | 312 | 3,07 | 1,61  | 0,053 | 311,0             | 311,1             | 15,81             | 17,71             | 30,20 | 33,82 | 34,0              | 32,4               | 92               | 86               | 89               |
| MittelS1_13         | 18:27:30 | 0,66             | 2,84                      | 256 | 2,90 | 0,50  | 0,017 | 333,3             | 332,3             | 19,68             | 20,27             | 36,50 | 37,59 | 34,5              | 32,7               | 25               | 653              | 339              |
| MittelS1_14         | 18:56:39 | -0,10            | -0,45                     | 318 | 2,38 | 0,32  | 0,013 | 317,3             | 317,3             | 21,15             | 21,53             | 41,91 | 42,66 | 33,3              | 31,2               | 15               | 128              | 72               |
| TiefS1_1            | 6:36:42  | -0,08            | -0,33                     | 368 | 0,65 | 0,10  | 0,015 | 363,5             | 363,6             | 16,01             | 16,13             | 64,02 | 64,48 | 21,3              | 19,6               | 11               | 59               |                  |
| TiefS1_2            | 7:37:47  | 1,86             | 7,97                      | 268 | 1,02 | 0,38  | 0,037 | 356,7             | 354,3             | 16,38             | 16,83             | 55,39 | 56,88 | 24,1              | 22,5               | 17               | 94               | 56               |
| TiefS1_3            | 8:24:47  | 0,91             | 3,91                      | 296 | 1,31 | 0,58  | 0,045 | 337,3             | 336,0             | 17,53             | 18,21             | 51,47 | 53,47 | 26,5              | 24,9               | 32               | 148              | 90               |
| TiefS1_4            | 9:28:46  | 0,71             | 3,05                      | 313 | 1,69 | 1,07  | 0,064 | 341,0             | 339,7             | 18,87             | 20,12             | 47,57 | 50,73 | 29,1              | 27,8               | 36               | 91               | 64               |
| TiefS1_5            | 10:33:21 | 2,12             | 9,09                      | 302 | 2,28 | 1,56  | 0,069 | 367,3             | 364,1             | 20,57             | 22,40             | 42,92 | 46,73 | 32,4              | 31,2               | 44               | 583              | 314              |
| TiefS1_6            | 11:36:29 | 0,74             | 3,18                      | 286 | 3,25 | 1,22  | 0,037 | 335,7             | 334,3             | 21,18             | 22,61             | 35,37 | 37,77 | 36,4              | 34,7               | 41               | 578              | 310              |
| TiefS1_7            | 12:31:18 | -0,20            | -0,87                     | 319 | 3,52 | 1,17  | 0,033 | 327,9             | 327,7             | 19,68             | 21,05             | 32,20 | 34,44 | 36,8              | 35,1               | 52               | 372              | 212              |
| TiefS1_8            | 13:33:35 | 0,33             | 1,40                      | 300 | 3,63 | 1,80  | 0,050 | 330,5             | 329,4             | 17,79             | 19,91             | 29,18 | 32,65 | 36,7              | 35,0               | 100              | 52               | 76               |
| TiefS1_9            | 14:21:45 | -1,09            | -4,67                     | 351 | 3,95 | 1,73  | 0,044 | 332,2             | 332,8             | 18,37             | 20,41             | 28,17 | 31,31 | 38,0              | 36,2               | 67               | 79               | 73               |
| TiefS1_10           | 15:34:55 | 0,01             | 0,04                      | 308 | 3,29 | 1,36  | 0,041 | 326,4             | 325,8             | 17,59             | 19,19             | 31,03 | 33,85 | 35,4              | 33,7               | 324              | 63               | 194              |
| TiefS1_11           | 16:35:12 | -0,05            | -0,20                     | 289 | 3,33 | 1,20  | 0,036 | 303,7             | 303,3             | 16,39             | 17,81             | 29,74 | 32,31 | 34,9              | 33,3               | 219              | 53               | 136              |
| TiefS1_12           | 17:25:05 | 0,15             | 0,65                      | 276 | 3,37 | 0,44  | 0,013 | 310,9             | 310,6             | 18,60             | 19,12             | 32,53 | 33,45 | 35,5              | 33,9               | 86               | 44               | 65               |
| TiefS1_13           | 18:40:03 | -1,09            | -4,67                     | 510 | 2,80 | 0,25  | 0,009 | 325,4             | 326,6             | 20,25             | 20,54             | 37,49 | 38,03 | 34,5              | 32,4               | 14               | 38               | 26               |
| TiefS1_14           | 19:04:59 | -0,84            | -3,60                     | 567 | 2,41 | 0,14  | 0,006 | 346,7             | 347,7             | 20,71             | 20,87             | 41,84 | 42,17 | 33,0              | 31,1               | 32               | 18               | 25               |
| FlachS2_1           | 6:15:33  | -0,42            | -1,56                     | 416 | 0,61 | 0,06  | 0,010 | 354,3             | 354,7             | 15,22             | 15,29             | 64,01 | 64,32 | 20,5              | 18,7               | 33               | 14               | 24               |
| FlachS2_2           | 7:18:52  | 2,90             | 10,88                     | 249 | 0,69 | 0,38  | 0,056 | 340,5             | 336,9             | 16,25             | 16,70             | 63,32 | 65,07 | 21,8              | 20,3               | 579              | 46               | 313              |
| FlachS2_3           | 8:09:47  | 4,06             | 15,23                     | 214 | 1,18 | 0,75  | 0,064 | 327,1             | 321,9             | 16,86             | 17,74             | 53,25 | 56,02 | 25,2              | 24,0               | 972              | 58               | 515              |
| FlachS2_4           | 9:13:55  | 0,75             | 2,83                      | 287 | 1,48 | 0,64  | 0,044 | 323,1             | 322,0             | 18,72             | 19,47             | 51,08 | 53,12 | 27,7              | 26,4               | 70               | 79               | 75               |
| FlachS2_5           | 10:17:16 | 2,34             | 8,78                      | 216 | 1,98 | 0,75  | 0,038 | 328,1             | 325,0             | 20,03             | 20,91             | 46,90 | 48,96 | 30,4              | 29,4               | 481              | 75               | 278              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS2_6           | 11:17:12 | -0,60            | -2,25                     | 332 | 2,37 | 0,85  | 0,036 | 316,8             | 317,2             | 20,58             | 21,57             | 42,29 | 44,33 | 32,7              | 31,2               | 32               | 84               | 58               |
| FlachS2_7           | 12:12:23 | 1,54             | 5,78                      | 253 | 3,81 | 2,11  | 0,055 | 318,7             | 316,0             | 20,58             | 23,06             | 32,01 | 35,86 | 37,7              | 36,6               | 36               | 1154             | 595              |
| FlachS2_8           | 13:11:42 | -0,85            | -3,17                     | 334 | 3,57 | 1,61  | 0,045 | 322,3             | 322,7             | 18,36             | 20,25             | 30,04 | 33,13 | 36,8              | 34,9               | 19               | 238              | 129              |
| FlachS2_9           | 14:09:47 | 0,45             | 1,68                      | 294 | 4,13 | 1,25  | 0,030 | 340,7             | 339,7             | 17,63             | 19,10             | 27,45 | 29,73 | 37,7              | 36,3               | 53               | 495              | 274              |
| FlachS2_10          | 15:16:24 | 0,12             | 0,45                      | 296 | 3,26 | 1,71  | 0,053 | 316,5             | 315,7             | 17,80             | 19,82             | 31,15 | 34,67 | 35,5              | 33,8               | 70               | 50               | 60               |
| FlachS2_11          | 16:23:29 | -0,09            | -0,33                     | 294 | 3,45 | 1,11  | 0,032 | 306,7             | 306,4             | 16,07             | 17,38             | 28,53 | 30,87 | 35,3              | 33,6               | 44               | 366              | 205              |
| FlachS2_12          | 17:08:49 | -1,65            | -6,19                     | 361 | 3,19 | 1,34  | 0,042 | 313,3             | 314,8             | 16,37             | 17,95             | 30,04 | 32,95 | 34,7              | 32,9               | 88               | 95               | 92               |
| FlachS2_13          | 18:19:30 | -1,04            | -3,90                     | 437 | 2,74 | 0,39  | 0,014 | 335,2             | 336,3             | 19,39             | 19,85             | 37,26 | 38,15 | 33,9              | 31,9               | 43               | 144              | 94               |
| FlachS2_14          | 18:53:32 | -0,44            | -1,64                     | 453 | 2,45 | 0,13  | 0,005 | 329,8             | 330,3             | 21,54             | 21,68             | 42,19 | 42,48 | 33,5              | 31,6               | 24               | 103              | 64               |
| MittelS2_1          | 6:28:01  | -0,32            | -1,89                     | 412 | 0,65 | 0,06  | 0,010 | 362,5             | 362,8             | 15,44             | 15,51             | 63,43 | 63,72 | 20,9              | 19,2               | 33               | 25               | 29               |
| MittelS2_2          | 7:27:53  | 0,44             | 2,66                      | 313 | 0,90 | 0,23  | 0,026 | 346,9             | 346,3             | 15,80             | 16,07             | 57,23 | 58,20 | 23,0              | 21,2               | 21               | 59               | 40               |
| MittelS2_3          | 8:17:57  | 0,00             | -0,02                     | 337 | 1,28 | 0,30  | 0,024 | 344,0             | 343,9             | 16,79             | 17,14             | 51,42 | 52,50 | 25,8              | 24,1               | 13               | 74               | 44               |
| MittelS2_4          | 9:24:09  | -0,42            | -2,54                     | 332 | 1,68 | 0,59  | 0,035 | 321,5             | 321,8             | 17,97             | 18,67             | 47,16 | 49,00 | 28,4              | 27,0               | 804              | 58               | 431              |
| MittelS2_5          | 10:29:19 | 0,85             | 5,07                      | 284 | 2,08 | 0,89  | 0,043 | 327,3             | 325,9             | 20,83             | 21,88             | 45,42 | 47,71 | 31,6              | 30,2               | 172              | 56               | 114              |
| MittelS2_6          | 11:27:33 | 0,19             | 1,16                      | 305 | 2,84 | 0,53  | 0,019 | 336,9             | 336,4             | 21,52             | 22,15             | 40,12 | 41,29 | 34,4              | 33,1               | 780              | 71               | 426              |
| MittelS2_7          | 12:24:54 | 0,30             | 1,78                      | 306 | 3,37 | 1,41  | 0,042 | 335,5             | 334,6             | 20,36             | 22,02             | 33,64 | 36,38 | 36,6              | 34,9               | 108              | 85               | 97               |
| MittelS2_8          | 13:27:59 | -1,16            | -6,96                     | 358 | 3,71 | 1,46  | 0,039 | 329,5             | 330,3             | 17,51             | 19,24             | 29,05 | 31,91 | 36,5              | 35,1               | 49               | 83               | 66               |
| MittelS2_9          | 14:16:12 | 1,32             | 7,92                      | 262 | 4,06 | 2,33  | 0,057 | 321,6             | 319,1             | 18,02             | 20,76             | 27,55 | 31,73 | 38,0              | 36,6               | 876              | 63               | 470              |
| MittelS2_10         | 15:27:39 | 0,74             | 4,43                      | 280 | 3,35 | 1,32  | 0,039 | 328,6             | 327,2             | 18,01             | 19,56             | 31,43 | 34,13 | 35,6              | 34,0               | 48               | 1332             | 690              |
| MittelS2_11         | 16:29:19 | 1,22             | 7,32                      | 230 | 3,41 | 0,98  | 0,029 | 315,9             | 314,1             | 16,84             | 17,99             | 29,90 | 31,96 | 35,3              | 33,7               | 46               | 1251             | 649              |
| MittelS2_12         | 17:17:39 | -1,44            | -8,64                     | 356 | 3,10 | 1,14  | 0,037 | 308,0             | 309,3             | 16,08             | 17,43             | 30,77 | 33,34 | 33,9              | 32,4               | 70               | 54               | 62               |
| MittelS2_13         | 18:31:44 | -0,74            | -4,43                     | 484 | 2,96 | 0,21  | 0,007 | 332,7             | 333,5             | 19,56             | 19,81             | 36,09 | 36,54 | 34,6              | 32,8               | 17               | 128              | 73               |
| MittelS2_14         | 18:58:33 | -0,10            | -0,57                     | 332 | 2,43 | 0,12  | 0,005 | 312,0             | 312,1             | 20,59             | 20,73             | 41,24 | 41,52 | 33,1              | 31,1               | 15               | 62               | 39               |
| TiefS2_1            | 6:39:39  | 0,06             | 0,30                      | 337 | 0,69 | 0,18  | 0,026 | 344,5             | 344,4             | 15,78             | 15,99             | 62,05 | 62,88 | 21,6              | 19,8               | 14               | 29               | 22               |
| TiefS2_2            | 7:39:39  | -0,23            | -1,13                     | 357 | 1,04 | 0,33  | 0,032 | 350,9             | 351,0             | 16,44             | 16,83             | 54,97 | 56,28 | 24,3              | 22,6               | 23               | 52               | 38               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS2_3            | 8:27:25  | 0,16             | 0,79                      | 329 | 1,34 | 0,39  | 0,029 | 345,7             | 345,3             | 17,72             | 18,18             | 51,41 | 52,74 | 26,7              | 25,1               | 23               | 143              | 83               |
| TiefS2_4            | 9:33:23  | 0,97             | 4,84                      | 297 | 1,79 | 1,17  | 0,066 | 331,9             | 330,3             | 19,51             | 20,89             | 46,77 | 50,06 | 30,0              | 28,6               | 58               | 67               | 63               |
| TiefS2_5            | 10:37:08 | 0,80             | 4,00                      | 311 | 2,42 | 1,38  | 0,057 | 348,0             | 346,5             | 21,90             | 23,52             | 43,28 | 46,47 | 33,4              | 32,1               | 93               | 71               | 82               |
| TiefS2_6            | 11:44:03 | 1,01             | 5,05                      | 248 | 3,77 | 0,91  | 0,024 | 335,8             | 334,2             | 21,30             | 22,37             | 33,40 | 35,07 | 37,6              | 36,2               | 60               | 1046             | 553              |
| TiefS2_7            | 12:38:40 | 0,03             | 0,16                      | 307 | 3,89 | 0,81  | 0,021 | 330,3             | 330,0             | 20,15             | 21,10             | 31,01 | 32,47 | 37,9              | 36,2               | 69               | 110              | 90               |
| TiefS2_8            | 13:37:11 | 2,84             | 14,20                     | 257 | 3,72 | 3,29  | 0,089 | 331,6             | 326,9             | 18,67             | 22,52             | 29,20 | 35,22 | 37,6              | 36,1               | 38               | 1026             | 532              |
| TiefS2_9            | 14:25:57 | 2,21             | 11,05                     | 270 | 3,95 | 2,72  | 0,069 | 346,3             | 342,5             | 19,25             | 22,43             | 29,22 | 34,05 | 38,2              | 36,8               | 54               | 1046             | 550              |
| TiefS2_10           | 15:39:12 | 2,28             | 11,40                     | 270 | 3,28 | 2,55  | 0,079 | 337,0             | 333,3             | 18,46             | 21,46             | 32,05 | 37,25 | 35,7              | 34,4               | 34               | 909              | 472              |
| TiefS2_11           | 16:39:16 | 0,03             | 0,14                      | 308 | 3,09 | 1,90  | 0,062 | 325,2             | 324,5             | 17,25             | 19,49             | 31,39 | 35,46 | 34,8              | 33,1               | 22               | 300              | 161              |
| TiefS2_12           | 17:26:56 | 0,37             | 1,83                      | 247 | 3,50 | 0,46  | 0,013 | 309,0             | 308,4             | 18,35             | 18,90             | 31,44 | 32,37 | 35,9              | 34,3               | 30               | 78               | 54               |
| TiefS2_13           | 18:46:37 | -1,14            | -5,70                     | 552 | 2,75 | 0,21  | 0,008 | 326,6             | 327,9             | 21,07             | 21,31             | 38,92 | 39,37 | 34,6              | 32,5               | 12               | 55               | 34               |
| TiefS2_14           | 19:07:54 | -0,73            | -3,66                     | 420 | 2,34 | 0,27  | 0,012 | 331,9             | 332,6             | 21,19             | 21,51             | 42,86 | 43,51 | 32,9              | 31,1               | 12               | 29               | 21               |

**Tabelle A XI:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly am 13.08.2004 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 7:55:32  | -0,76            | -3,79                     | 584 | 1,07 | 0,06  | 0,005 | 355,6             | 356,4             | 16,59             | 16,66             | 54,24 | 54,45 | 24,3              | 22,5               | 31               | 75               | 53               |
| FlachS1_2           | 9:12:30  | 0,58             | 2,89                      | 207 | 1,53 | 0,11  | 0,007 | 344,9             | 344,2             | 15,38             | 15,51             | 45,00 | 45,38 | 26,1              | 24,4               | 43               | 96               | 70               |
| FlachS1_4           | 9:58:03  | -0,26            | -1,29                     | 376 | 1,89 | 0,24  | 0,012 | 353,4             | 353,6             | 16,17             | 16,45             | 43,15 | 43,90 | 27,7              | 26,8               | 49               | 317              | 183              |
| FlachS1_5           | 11:00:35 | 4,36             | 21,80                     | 202 | 1,96 | 1,15  | 0,058 | 339,1             | 333,4             | 17,58             | 18,94             | 42,56 | 45,84 | 29,3              | 28,2               | 225              | 87               | 156              |
| FlachS1_6           | 11:59:47 | 2,92             | 14,60                     | 239 | 1,69 | 0,91  | 0,053 | 340,4             | 336,5             | 16,13             | 17,21             | 43,74 | 46,66 | 27,4              | 26,1               | 65               | 79               | 72               |
| FlachS1_7           | 13:10:55 | -0,70            | -3,51                     | 535 | 1,15 | 0,07  | 0,006 | 343,8             | 344,6             | 15,63             | 15,71             | 52,29 | 52,56 | 23,9              | 22,4               | 23               | 43               | 33               |
| FlachS1_8           | 14:26:57 | 3,34             | 14,31                     | 174 | 1,79 | 0,62  | 0,034 | 344,9             | 340,7             | 17,87             | 18,60             | 44,81 | 46,65 | 28,7              | 27,3               | 172              | 91               | 132              |
| FlachS1_9           | 14:54:21 | 2,47             | 10,59                     | 206 | 2,07 | 0,66  | 0,031 | 347,2             | 343,9             | 18,82             | 19,60             | 43,43 | 45,21 | 30,2              | 29,0               | 431              | 89               | 260              |
| FlachS1_10          | 16:05:40 | -1,62            | -6,94                     | 639 | 1,03 | 0,09  | 0,008 | 331,1             | 333,0             | 16,64             | 16,74             | 57,68 | 58,04 | 23,3              | 22,2               | 78               | 150              | 114              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_11          | 16:56:50 | 1,45             | 6,21                      | 264 | 1,84 | 0,60  | 0,032 | 349,2             | 347,2             | 16,77             | 17,47             | 43,38 | 45,20 | 28,2              | 27,0               | 90               | 69               | 80               |
| FlachS1_12          | 18:06:09 | 0,25             | 1,25                      | 313 | 1,40 | 0,37  | 0,026 | 336,4             | 335,9             | 14,36             | 14,80             | 45,33 | 46,71 | 24,8              | 23,3               | 51               | 67               | 59               |
| FlachS1_13          | 19:12:22 | -1,63            | -8,15                     | 508 | 0,89 | 0,13  | 0,015 | 332,0             | 333,9             | 13,17             | 13,32             | 53,28 | 53,91 | 20,8              | 19,1               | 15               | 26               | 21               |
| MittelS1_1          | 8:05:59  | 1,08             | 5,40                      | 317 | 1,54 | 0,57  | 0,036 | 376,1             | 374,6             | 16,96             | 17,63             | 48,79 | 50,71 | 26,4              | 25,6               | 13               | 362              | 188              |
| MittelS1_2          | 9:16:48  | 2,12             | 10,60                     | 215 | 1,85 | 0,54  | 0,029 | 346,9             | 344,1             | 14,91             | 15,55             | 41,35 | 43,12 | 27,0              | 26,1               | 43               | 590              | 317              |
| MittelS1_4          | 10:07:31 | 0,66             | 3,32                      | 253 | 2,19 | 0,30  | 0,013 | 344,8             | 343,9             | 16,15             | 16,51             | 37,92 | 38,76 | 29,9              | 28,2               | 22               | 509              | 266              |
| MittelS1_5          | 11:08:07 | 0,13             | 0,65                      | 310 | 2,40 | 0,41  | 0,017 | 336,1             | 335,8             | 17,04             | 17,52             | 37,73 | 38,81 | 30,9              | 29,5               | 24               | 132              | 78               |
| MittelS1_6          | 12:05:48 | -0,14            | -0,72                     | 338 | 1,83 | 0,31  | 0,016 | 334,4             | 334,4             | 15,56             | 15,92             | 40,93 | 41,88 | 27,9              | 26,2               | 40               | 133              | 87               |
| MittelS1_8          | 14:30:44 | 2,92             | 14,60                     | 184 | 1,91 | 0,64  | 0,033 | 341,0             | 337,2             | 17,74             | 18,49             | 43,03 | 44,85 | 29,3              | 27,8               | 61               | 97               | 79               |
| MittelS1_9          | 15:00:44 | -0,85            | -4,24                     | 448 | 2,18 | 0,24  | 0,011 | 331,5             | 332,4             | 18,98             | 19,26             | 42,08 | 42,69 | 30,9              | 29,3               | 86               | 64               | 75               |
| MittelS1_10         | 16:12:26 | -0,12            | -0,58                     | 359 | 1,44 | 0,09  | 0,006 | 335,3             | 335,4             | 16,53             | 16,63             | 48,79 | 49,10 | 26,0              | 24,6               | 62               | 122              | 92               |
| MittelS1_11         | 17:03:14 | -0,05            | -0,23                     | 332 | 1,88 | 0,25  | 0,013 | 336,5             | 336,5             | 16,73             | 17,03             | 42,00 | 42,75 | 28,7              | 27,0               | 12               | 68               | 40               |
| MittelS1_12         | 18:10:02 | 0,15             | 0,75                      | 313 | 1,42 | 0,36  | 0,025 | 331,0             | 330,7             | 14,14             | 14,56             | 44,51 | 45,85 | 24,9              | 23,3               | 6                | 93               | 50               |
| MittelS1_13         | 19:18:59 | -0,47            | -2,35                     | 477 | 0,98 | 0,05  | 0,005 | 341,3             | 341,8             | 12,83             | 12,89             | 50,42 | 50,67 | 21,2              | 19,4               | 4                | 23               | 14               |
| TiefS1_1            | 8:15:51  | -0,35            | -1,48                     | 393 | 1,66 | 0,39  | 0,023 | 378,7             | 379,0             | 16,28             | 16,73             | 43,96 | 45,19 | 27,5              | 25,7               | 17               | 73               | 45               |
| TiefS1_2            | 9:21:10  | 1,68             | 7,20                      | 236 | 1,91 | 0,53  | 0,027 | 346,5             | 344,3             | 14,96             | 15,59             | 39,42 | 41,08 | 27,9              | 26,4               | 40               | 251              | 146              |
| TiefS1_4            | 10:15:00 | 1,42             | 6,09                      | 271 | 2,46 | 0,81  | 0,032 | 357,6             | 355,5             | 16,41             | 17,36             | 36,13 | 38,23 | 31,0              | 29,7               | 43               | 1114             | 579              |
| TiefS1_5            | 11:18:41 | 1,07             | 4,59                      | 279 | 2,92 | 1,01  | 0,034 | 346,7             | 345,0             | 17,05             | 18,24             | 33,48 | 35,82 | 33,0              | 31,8               | 54               | 737              | 396              |
| TiefS1_6            | 12:10:10 | 1,48             | 6,34                      | 103 | 1,84 | 0,19  | 0,010 | 352,8             | 351,0             | 15,50             | 15,72             | 40,94 | 41,52 | 27,8              | 26,1               | 44               | 73               | 59               |
| TiefS1_8            | 14:43:13 | 0,09             | 0,40                      | 321 | 1,90 | 0,31  | 0,016 | 340,8             | 340,6             | 18,27             | 18,64             | 44,27 | 45,16 | 29,3              | 27,8               | 494              | 79               | 287              |
| TiefS1_9            | 15:10:00 | 1,40             | 6,00                      | 261 | 2,40 | 0,80  | 0,032 | 344,6             | 342,6             | 18,23             | 19,17             | 39,02 | 41,03 | 31,5              | 30,2               | 84               | 84               | 84               |
| TiefS1_10           | 16:18:41 | -0,02            | -0,11                     | 331 | 1,57 | 0,20  | 0,013 | 336,8             | 336,8             | 15,87             | 16,11             | 44,93 | 45,61 | 26,7              | 24,9               | 47               | 58               | 53               |
| TiefS1_11           | 17:10:17 | 0,31             | 1,32                      | 297 | 1,84 | 0,23  | 0,012 | 348,6             | 348,1             | 16,43             | 16,70             | 42,43 | 43,12 | 28,2              | 26,6               | 81               | 43               | 62               |
| TiefS1_12           | 18:13:15 | -0,46            | -1,95                     | 353 | 1,40 | 0,35  | 0,025 | 330,5             | 330,9             | 14,49             | 14,90             | 45,54 | 46,85 | 24,9              | 23,4               | 50               | 59               | 55               |
| TiefS1_13           | 19:27:45 | -0,25            | -0,94                     | 397 | 0,98 | 0,06  | 0,006 | 337,0             | 337,2             | 13,00             | 13,07             | 50,82 | 51,10 | 21,3              | 19,6               | 5                | 10               | 8                |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS2_1           | 8:03:33  | 1,96             | 8,40                      | 253 | 1,35 | 0,56  | 0,041 | 340,4             | 337,8             | 16,64             | 17,29             | 49,28 | 51,23 | 25,9              | 24,4               | 81               | 47               | 64               |
| FlachS2_2           | 9:14:36  | 2,51             | 10,76                     | 209 | 1,58 | 0,52  | 0,033 | 344,3             | 341,0             | 15,41             | 16,02             | 44,20 | 45,97 | 26,5              | 25,0               | 99               | 65               | 82               |
| FlachS2_4           | 10:03:58 | 1,07             | 4,59                      | 277 | 1,99 | 0,60  | 0,029 | 347,7             | 346,2             | 16,25             | 16,95             | 40,07 | 41,81 | 29,0              | 27,5               | 76               | 77               | 77               |
| FlachS2_5           | 11:03:28 | 3,60             | 15,43                     | 221 | 2,11 | 1,14  | 0,053 | 345,8             | 341,1             | 17,25             | 18,59             | 39,96 | 43,07 | 30,1              | 28,7               | 84               | 112              | 98               |
| FlachS2_6           | 12:02:52 | 0,01             | 0,06                      | 336 | 1,80 | 0,33  | 0,018 | 347,3             | 347,2             | 15,75             | 16,14             | 41,81 | 42,84 | 27,8              | 26,1               | 60               | 155              | 108              |
| FlachS2_8           | 14:21:44 | 1,49             | 6,39                      | 150 | 1,57 | 0,23  | 0,015 | 322,7             | 320,9             | 17,61             | 17,88             | 47,97 | 48,73 | 27,3              | 25,9               | 94               | 845              | 470              |
| FlachS2_9           | 14:56:05 | 2,60             | 11,14                     | 186 | 2,08 | 0,65  | 0,031 | 335,9             | 332,5             | 18,88             | 19,64             | 42,68 | 44,42 | 30,5              | 29,1               | 69               | 583              | 326              |
| FlachS2_10          | 16:09:58 | -0,06            | -0,25                     | 329 | 1,38 | 0,25  | 0,018 | 331,0             | 331,0             | 16,59             | 16,89             | 51,45 | 52,37 | 25,1              | 24,3               | 75               | 172              | 124              |
| FlachS2_11          | 16:59:35 | 0,46             | 1,95                      | 247 | 1,97 | 0,18  | 0,009 | 340,6             | 340,0             | 16,92             | 17,13             | 42,58 | 43,12 | 28,7              | 27,4               | 51               | 387              | 219              |
| FlachS2_12          | 18:07:57 | 0,25             | 1,09                      | 305 | 1,43 | 0,37  | 0,025 | 329,6             | 329,2             | 13,90             | 14,34             | 43,90 | 45,27 | 24,8              | 23,2               | 46               | 150              | 98               |
| FlachS2_13          | 19:16:29 | -0,15            | -0,66                     | 375 | 0,97 | 0,05  | 0,005 | 330,5             | 330,7             | 12,84             | 12,90             | 50,84 | 51,07 | 21,1              | 19,4               | 13               | 17               | 15               |
| MittelS2_1          | 8:10:18  | -0,33            | -1,66                     | 415 | 1,60 | 0,19  | 0,011 | 378,9             | 379,2             | 16,23             | 16,45             | 45,26 | 45,88 | 26,9              | 25,3               | 40               | 73               | 57               |
| MittelS2_2          | 9:18:34  | 2,45             | 12,25                     | 192 | 1,77 | 0,53  | 0,029 | 337,8             | 334,7             | 14,94             | 15,56             | 40,38 | 42,08 | 27,5              | 25,7               | 75               | 39               | 57               |
| MittelS2_4          | 10:11:01 | -0,33            | -1,67                     | 382 | 2,32 | 0,27  | 0,011 | 348,1             | 348,4             | 16,05             | 16,37             | 36,73 | 37,45 | 30,3              | 28,7               | 65               | 84               | 75               |
| MittelS2_5          | 11:10:21 | -0,07            | -0,37                     | 324 | 2,49 | 0,40  | 0,016 | 330,3             | 330,2             | 16,91             | 17,39             | 36,94 | 37,98 | 31,1              | 29,8               | 63               | 179              | 121              |
| MittelS2_6          | 12:07:41 | 1,40             | 7,00                      | 118 | 1,84 | 0,20  | 0,010 | 343,6             | 341,9             | 15,23             | 15,46             | 40,10 | 40,71 | 27,9              | 26,0               | 50               | 69               | 60               |
| MittelS2_8          | 14:37:26 | -0,52            | -2,61                     | 361 | 1,88 | 0,41  | 0,021 | 331,4             | 331,9             | 17,86             | 18,33             | 43,11 | 44,27 | 29,4              | 27,6               | 15               | 175              | 95               |
| MittelS2_9          | 15:03:23 | -1,46            | -7,30                     | 540 | 2,28 | 0,25  | 0,011 | 332,0             | 333,6             | 18,55             | 18,84             | 40,64 | 41,28 | 31,1              | 29,5               | 22               | 201              | 112              |
| MittelS2_10         | 16:14:31 | 0,89             | 4,43                      | 202 | 1,51 | 0,17  | 0,011 | 337,0             | 335,9             | 16,17             | 16,38             | 46,73 | 47,33 | 26,3              | 24,8               | 33               | 195              | 114              |
| MittelS2_11         | 17:06:41 | 0,01             | 0,03                      | 329 | 1,89 | 0,24  | 0,013 | 340,6             | 340,5             | 16,38             | 16,67             | 41,66 | 42,39 | 28,5              | 26,9               | 27               | 103              | 65               |
| MittelS2_12         | 18:11:18 | 0,21             | 1,04                      | 308 | 1,39 | 0,36  | 0,025 | 329,2             | 328,9             | 14,39             | 14,82             | 45,27 | 46,60 | 24,9              | 23,3               | 30               | 103              | 67               |
| MittelS2_13         | 19:21:46 | -0,24            | -1,21                     | 379 | 0,97 | 0,08  | 0,008 | 337,5             | 337,8             | 12,92             | 13,01             | 50,88 | 51,27 | 21,2              | 19,4               | 9                | 21               | 15               |
| TiefS2_1            | 8:18:17  | 0,42             | 2,11                      | 319 | 1,67 | 0,25  | 0,015 | 375,5             | 374,9             | 16,74             | 17,03             | 44,74 | 45,52 | 27,7              | 26,0               | 41               | 73               | 57               |
| TiefS2_2            | 9:24:04  | 2,12             | 10,60                     | 226 | 1,88 | 0,52  | 0,027 | 364,2             | 361,4             | 15,90             | 16,51             | 40,68 | 42,25 | 28,4              | 26,7               | 120              | 63               | 92               |
| TiefS2_4            | 10:20:43 | 2,81             | 14,05                     | 223 | 2,64 | 1,11  | 0,041 | 349,6             | 345,8             | 16,55             | 17,85             | 34,50 | 37,22 | 32,0              | 30,6               | 55               | 941              | 498              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS2_5            | 11:24:10 | 1,33             | 6,65                      | 257 | 3,00 | 0,85  | 0,028 | 351,8             | 349,9             | 16,59             | 17,60             | 31,52 | 33,43 | 33,6              | 31,9               | 70               | 273              | 172              |
| TiefS2_6            | 12:12:11 | 0,84             | 4,21                      | 199 | 1,88 | 0,20  | 0,010 | 341,3             | 340,2             | 15,27             | 15,50             | 40,23 | 40,85 | 27,9              | 26,2               | 44               | 126              | 85               |
| TiefS2_8            | 14:47:42 | 1,45             | 7,25                      | 253 | 2,40 | 0,64  | 0,026 | 357,5             | 355,5             | 18,98             | 19,73             | 42,91 | 44,62 | 30,5              | 30,4               | 57               | 797              | 427              |
| TiefS2_9            | 15:15:23 | 2,40             | 12,00                     | 132 | 2,86 | 0,65  | 0,022 | 322,3             | 319,1             | 18,43             | 19,19             | 36,54 | 38,05 | 32,9              | 32,0               | 64               | 966              | 515              |
| TiefS2_10           | 16:20:41 | 1,27             | 5,44                      | 251 | 1,55 | 0,42  | 0,026 | 337,7             | 336,0             | 15,75             | 16,25             | 44,46 | 45,85 | 26,7              | 24,9               | 20               | 154              | 87               |
| TiefS2_11           | 17:15:44 | 1,05             | 4,50                      | 286 | 1,79 | 0,45  | 0,024 | 366,1             | 364,7             | 16,79             | 17,32             | 42,59 | 43,93 | 28,5              | 26,7               | 34               | 71               | 53               |
| TiefS2_12           | 18:15:45 | 0,84             | 3,61                      | 264 | 1,41 | 0,32  | 0,022 | 333,4             | 332,3             | 14,46             | 14,83             | 45,13 | 46,30 | 25,0              | 23,4               | 19               | 135              | 77               |
| TiefS2_13           | 19:30:10 | -0,07            | -0,26                     | 354 | 0,97 | 0,05  | 0,005 | 338,5             | 338,6             | 13,01             | 13,07             | 50,98 | 51,22 | 21,3              | 19,5               | 9                | 5                | 7                |

**Tabelle A XII:** Tagesgang auf der Untersuchungsfläche Saraly am 19.08.2004 entlang des Wasserstandstransekts (Flach, Mittel, Tief) für den Stängel 1 (S1) und Stängel 2 (S2). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS1_1           | 6:58:21  | -0,02            | -0,08                     | 351 | 0,69 | 0,05  | 0,008 | 351,7             | 351,7             | 17,19             | 17,26             | 65,22 | 65,47 | 22,1              | 20,6               | 15               | 35               | 25               |
| FlachS1_2           | 8:04:15  | 0,63             | 3,17                      | 311 | 0,68 | 0,16  | 0,024 | 357,6             | 356,7             | 17,08             | 17,27             | 66,00 | 66,75 | 21,8              | 20,6               | 31               | 78               | 55               |
| FlachS1_3           | 8:54:43  | -0,23            | -1,15                     | 353 | 0,92 | 0,28  | 0,030 | 345,8             | 345,9             | 17,67             | 17,99             | 60,69 | 61,82 | 23,7              | 22,5               | 62               | 101              | 82               |
| FlachS1_4           | 10:04:59 | 1,33             | 6,65                      | 273 | 0,95 | 0,35  | 0,037 | 338,7             | 337,0             | 18,76             | 19,17             | 62,47 | 63,84 | 24,2              | 23,4               | 406              | 108              | 257              |
| FlachS1_5           | 11:05:40 | 0,73             | 3,65                      | 282 | 1,28 | 0,30  | 0,023 | 340,4             | 339,4             | 19,24             | 19,60             | 56,44 | 57,47 | 26,3              | 25,4               | 136              | 105              | 121              |
| FlachS1_6           | 12:02:35 | 2,36             | 11,80                     | 229 | 1,53 | 0,64  | 0,042 | 330,9             | 327,8             | 21,28             | 22,03             | 54,17 | 56,09 | 28,8              | 27,8               | 214              | 152              | 183              |
| FlachS1_7           | 13:03:32 | 1,21             | 6,05                      | 261 | 2,37 | 0,91  | 0,038 | 325,4             | 323,6             | 19,50             | 20,57             | 42,81 | 45,16 | 31,3              | 30,7               | 716              | 175              | 446              |
| FlachS1_8           | 14:05:59 | 0,18             | 0,89                      | 289 | 2,16 | 0,23  | 0,011 | 327,0             | 326,7             | 19,86             | 20,13             | 45,24 | 45,87 | 30,7              | 29,7               | 91               | 125              | 108              |
| FlachS1_9           | 15:06:32 | 0,47             | 2,01                      | 242 | 2,56 | 0,23  | 0,009 | 339,5             | 338,8             | 19,12             | 19,39             | 40,40 | 40,98 | 32,0              | 31,0               | 353              | 78               | 216              |
| FlachS1_10          | 16:08:42 | -0,27            | -1,17                     | 472 | 2,16 | 0,06  | 0,003 | 320,1             | 320,4             | 19,08             | 19,15             | 43,70 | 43,86 | 30,6              | 29,3               | 25               | 67               | 46               |
| FlachS1_11          | 17:03:03 | 0,08             | 0,35                      | 288 | 1,66 | 0,12  | 0,007 | 314,1             | 314,0             | 21,89             | 22,03             | 53,18 | 53,53 | 29,5              | 28,4               | 23               | 66               | 45               |
| FlachS1_12          | 18:09:16 | -1,10            | -4,71                     | 415 | 1,70 | 0,27  | 0,016 | 312,2             | 313,4             | 20,27             | 20,59             | 50,27 | 51,06 | 29,2              | 27,9               | 26               | 138              | 82               |
| FlachS1_13          | 18:49:35 | -0,69            | -2,97                     | 418 | 1,46 | 0,16  | 0,011 | 321,7             | 322,5             | 20,77             | 20,96             | 54,38 | 54,87 | 28,3              | 27,0               | 7                | 66               | 37               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| MittelS1_1          | 7:08:42  | -0,42            | -2,49                     | 430 | 0,93 | 0,08  | 0,008 | 356,5             | 357,0             | 17,14             | 17,23             | 59,30 | 59,62 | 23,6              | 22,1               | 12               | 55               | 34               |
| MittelS1_2          | 8:11:35  | 0,38             | 2,30                      | 305 | 0,90 | 0,15  | 0,017 | 347,2             | 346,6             | 17,18             | 17,36             | 60,26 | 60,90 | 23,4              | 22,0               | 10               | 111              | 61               |
| MittelS1_3          | 9:04:03  | 0,61             | 3,64                      | 291 | 1,22 | 0,27  | 0,022 | 342,0             | 341,2             | 17,79             | 18,11             | 54,01 | 54,99 | 25,8              | 24,3               | 17               | 131              | 74               |
| MittelS1_4          | 10:13:29 | 1,01             | 6,06                      | 259 | 1,49 | 0,39  | 0,026 | 329,7             | 328,3             | 19,83             | 20,29             | 53,70 | 54,95 | 27,7              | 26,8               | 24               | 657              | 341              |
| MittelS1_5          | 11:12:51 | 0,62             | 3,73                      | 279 | 1,55 | 0,41  | 0,026 | 325,8             | 324,8             | 20,20             | 20,68             | 52,04 | 53,28 | 28,6              | 27,3               | 24               | 179              | 102              |
| MittelS1_6          | 12:09:05 | 1,45             | 8,70                      | 242 | 2,19 | 0,77  | 0,035 | 321,5             | 319,5             | 21,74             | 22,64             | 46,80 | 48,75 | 31,7              | 30,9               | 783              | 182              | 483              |
| MittelS1_7          | 13:12:53 | 0,34             | 2,06                      | 289 | 2,99 | 0,89  | 0,029 | 324,1             | 323,4             | 19,70             | 20,74             | 36,41 | 38,34 | 34,4              | 33,1               | 89               | 210              | 150              |
| MittelS1_8          | 14:15:06 | 0,77             | 4,61                      | 239 | 2,60 | 0,48  | 0,018 | 320,1             | 319,0             | 19,96             | 20,52             | 40,65 | 41,80 | 32,7              | 31,6               | 671              | 135              | 403              |
| MittelS1_9          | 15:17:22 | 0,03             | 0,19                      | 302 | 3,00 | 0,42  | 0,014 | 321,7             | 321,5             | 19,00             | 19,49             | 35,36 | 36,28 | 34,3              | 32,7               | 39               | 87               | 63               |
| MittelS1_10         | 16:15:56 | -0,15            | -0,89                     | 414 | 2,31 | 0,05  | 0,002 | 321,5             | 321,7             | 19,25             | 19,31             | 42,19 | 42,33 | 31,4              | 30,0               | 24               | 79               | 52               |
| MittelS1_11         | 17:09:22 | 0,14             | 0,82                      | 266 | 1,82 | 0,13  | 0,007 | 305,5             | 305,3             | 23,65             | 23,80             | 52,77 | 53,12 | 31,0              | 29,9               | 17               | 73               | 45               |
| MittelS1_12         | 18:19:43 | -0,44            | -2,62                     | 358 | 1,82 | 0,28  | 0,015 | 321,1             | 321,5             | 21,16             | 21,49             | 49,02 | 49,77 | 30,4              | 28,8               | 10               | 52               | 31               |
| MittelS1_13         | 18:54:32 | -1,30            | -7,80                     | 400 | 1,59 | 0,39  | 0,024 | 321,5             | 322,9             | 20,41             | 20,87             | 51,11 | 52,26 | 29,0              | 27,6               | 9                | 33               | 21               |
| TiefS1_1            | 7:19:19  | 0,00             | 0,00                      | 351 | 1,04 | 0,17  | 0,017 | 357,2             | 357,2             | 17,19             | 17,40             | 56,40 | 57,07 | 24,5              | 22,9               | 7                | 37               | 22               |
| TiefS1_2            | 8:17:58  | 0,69             | 2,59                      | 284 | 1,05 | 0,21  | 0,020 | 347,6             | 346,7             | 17,22             | 17,47             | 56,60 | 57,39 | 24,4              | 23,0               | 13               | 98               | 56               |
| TiefS1_3            | 9:13:09  | 1,56             | 5,85                      | 230 | 1,45 | 0,36  | 0,024 | 342,1             | 340,1             | 17,84             | 18,25             | 50,76 | 51,95 | 26,9              | 25,6               | 19               | 128              | 74               |
| TiefS1_4            | 10:21:02 | 0,20             | 0,76                      | 302 | 2,00 | 0,41  | 0,020 | 329,5             | 329,1             | 18,93             | 19,41             | 44,00 | 45,11 | 30,4              | 28,8               | 14               | 142              | 78               |
| TiefS1_5            | 11:19:33 | 0,15             | 0,57                      | 304 | 1,89 | 0,27  | 0,014 | 331,3             | 331,0             | 19,82             | 20,14             | 46,89 | 47,63 | 30,1              | 28,6               | 17               | 146              | 82               |
| TiefS1_6            | 12:18:28 | 0,10             | 0,38                      | 292 | 2,93 | 0,29  | 0,010 | 324,0             | 323,7             | 20,36             | 20,70             | 37,86 | 38,49 | 34,3              | 32,9               | 59               | 112              | 86               |
| TiefS1_7            | 13:21:05 | 2,24             | 9,60                      | 229 | 3,18 | 1,54  | 0,048 | 322,1             | 318,8             | 19,45             | 21,27             | 34,39 | 37,60 | 35,2              | 34,0               | 704              | 157              | 431              |
| TiefS1_8            | 14:21:00 | 0,40             | 1,73                      | 263 | 2,81 | 0,44  | 0,015 | 319,5             | 318,8             | 20,24             | 20,75             | 38,65 | 39,63 | 33,8              | 32,5               | 87               | 63               | 75               |
| TiefS1_9            | 15:25:02 | 0,06             | 0,24                      | 297 | 3,07 | 0,29  | 0,009 | 322,9             | 322,7             | 18,93             | 19,27             | 35,00 | 35,62 | 34,4              | 32,9               | 142              | 67               | 105              |
| TiefS1_10           | 16:21:34 | 0,13             | 0,57                      | 272 | 2,44 | 0,14  | 0,006 | 321,1             | 320,8             | 19,75             | 19,92             | 41,69 | 42,05 | 32,0              | 30,8               | 327              | 46               | 187              |
| TiefS1_11           | 17:16:17 | 0,07             | 0,32                      | 295 | 2,15 | 0,42  | 0,019 | 312,5             | 312,3             | 21,54             | 22,03             | 45,97 | 47,02 | 31,8              | 30,5               | 24               | 37               | 31               |
| TiefS1_12           | 18:30:28 | -0,61            | -2,59                     | 372 | 1,90 | 0,32  | 0,017 | 323,8             | 324,4             | 21,32             | 21,70             | 48,43 | 49,29 | 30,7              | 29,3               | 12               | 26               | 19               |
| TiefS1_13           | 19:07:31 | -0,23            | -1,00                     | 466 | 1,68 | 0,04  | 0,003 | 333,5             | 333,7             | 22,23             | 22,28             | 52,15 | 52,27 | 30,2              | 28,6               | 10               | 15               | 13               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| FlachS2_1           | 7:03:13  | 0,14             | 0,53                      | 337 | 0,83 | 0,18  | 0,021 | 352,7             | 352,4             | 16,89             | 17,10             | 60,92 | 61,66 | 22,9              | 21,4               | 11               | 53               | 32               |
| FlachS2_2           | 8:08:01  | -0,01            | -0,03                     | 348 | 0,81 | 0,16  | 0,020 | 352,0             | 352,0             | 17,03             | 17,22             | 62,25 | 62,94 | 22,7              | 21,3               | 28               | 89               | 59               |
| FlachS2_3           | 9:00:51  | 0,46             | 1,71                      | 314 | 1,13 | 0,35  | 0,031 | 344,1             | 343,4             | 17,68             | 18,09             | 55,45 | 56,74 | 25,2              | 23,8               | 31               | 99               | 65               |
| FlachS2_4           | 10:09:10 | 1,58             | 5,93                      | 248 | 1,17 | 0,39  | 0,034 | 332,5             | 330,5             | 19,32             | 19,78             | 57,79 | 59,17 | 26,0              | 25,0               | 52               | 605              | 329              |
| FlachS2_5           | 11:08:07 | 0,23             | 0,87                      | 309 | 1,34 | 0,28  | 0,021 | 335,0             | 334,6             | 19,90             | 20,23             | 55,55 | 56,46 | 27,2              | 26,0               | 34               | 329              | 182              |
| FlachS2_6           | 12:05:37 | 3,38             | 12,68                     | 188 | 1,91 | 0,83  | 0,043 | 328,1             | 323,7             | 21,76             | 22,73             | 51,19 | 53,47 | 30,1              | 29,8               | 88               | 1200             | 644              |
| FlachS2_7           | 13:08:01 | 1,06             | 3,98                      | 230 | 3,04 | 0,73  | 0,024 | 317,7             | 316,1             | 19,31             | 20,16             | 38,01 | 39,69 | 33,3              | 33,1               | 84               | 770              | 427              |
| FlachS2_8           | 14:09:05 | 0,32             | 1,19                      | 258 | 2,40 | 0,26  | 0,011 | 318,6             | 318,1             | 19,55             | 19,85             | 42,64 | 43,30 | 31,5              | 30,6               | 42               | 345              | 194              |
| FlachS2_9           | 15:12:35 | 0,02             | 0,09                      | 298 | 2,95 | 0,29  | 0,009 | 317,0             | 316,8             | 18,97             | 19,31             | 36,15 | 36,78 | 33,9              | 32,5               | 46               | 326              | 186              |
| FlachS2_10          | 16:11:02 | 0,17             | 0,62                      | 226 | 2,27 | 0,08  | 0,003 | 317,0             | 316,8             | 18,90             | 18,99             | 42,61 | 42,81 | 30,9              | 29,7               | 37               | 436              | 237              |
| FlachS2_11          | 17:05:59 | -0,45            | -1,67                     | 365 | 1,76 | 0,21  | 0,012 | 314,1             | 314,5             | 21,93             | 22,18             | 51,31 | 51,90 | 30,2              | 28,9               | 48               | 113              | 81               |
| FlachS2_12          | 18:14:36 | -1,04            | -3,90                     | 428 | 1,88 | 0,26  | 0,013 | 314,4             | 315,6             | 19,97             | 20,27             | 47,32 | 48,03 | 30,0              | 28,6               | 22               | 71               | 47               |
| FlachS2_13          | 18:51:31 | -0,75            | -2,80                     | 388 | 1,52 | 0,26  | 0,017 | 323,9             | 324,7             | 20,58             | 20,88             | 52,85 | 53,63 | 28,6              | 27,2               | 15               | 33               | 24               |
| MittelS2_1          | 7:13:32  | 0,95             | 4,77                      | 280 | 0,96 | 0,23  | 0,023 | 351,9             | 350,7             | 17,29             | 17,55             | 58,08 | 58,97 | 24,1              | 22,5               | 7                | 63               | 35               |
| MittelS2_2          | 8:14:09  | 1,19             | 5,95                      | 262 | 0,95 | 0,24  | 0,026 | 342,5             | 341,0             | 17,33             | 17,62             | 59,09 | 60,08 | 23,8              | 22,5               | 22               | 181              | 102              |
| MittelS2_3          | 9:07:01  | 1,96             | 9,80                      | 236 | 1,29 | 0,44  | 0,034 | 337,9             | 335,3             | 17,78             | 18,30             | 52,63 | 54,17 | 26,2              | 24,8               | 33               | 302              | 168              |
| MittelS2_4          | 10:16:58 | 3,67             | 18,35                     | 203 | 2,01 | 1,09  | 0,054 | 326,5             | 321,7             | 20,32             | 21,61             | 49,78 | 52,92 | 29,4              | 29,7               | 38               | 1270             | 654              |
| MittelS2_5          | 11:16:07 | 1,60             | 8,00                      | 237 | 1,71 | 0,58  | 0,034 | 323,4             | 321,3             | 20,48             | 21,16             | 50,04 | 51,70 | 29,5              | 28,2               | 33               | 309              | 171              |
| MittelS2_6          | 12:12:05 | 1,42             | 7,10                      | 233 | 2,50 | 0,79  | 0,031 | 319,2             | 317,2             | 21,57             | 22,50             | 42,94 | 44,79 | 33,1              | 32,0               | 49               | 314              | 182              |
| MittelS2_7          | 13:15:26 | 0,92             | 4,60                      | 264 | 3,08 | 1,10  | 0,035 | 322,0             | 320,5             | 19,87             | 21,16             | 35,77 | 38,11 | 34,9              | 33,6               | 66               | 470              | 268              |
| MittelS2_8          | 14:17:26 | 0,80             | 3,99                      | 231 | 2,63 | 0,49  | 0,018 | 314,6             | 313,5             | 20,90             | 21,48             | 41,25 | 42,37 | 33,2              | 32,1               | 182              | 141              | 162              |
| MittelS2_9          | 15:20:02 | 0,00             | 0,02                      | 310 | 2,96 | 0,60  | 0,020 | 325,7             | 325,5             | 19,21             | 19,91             | 35,56 | 36,87 | 34,4              | 32,7               | 112              | 103              | 108              |
| MittelS2_10         | 16:18:26 | 0,51             | 2,53                      | 251 | 2,32 | 0,34  | 0,014 | 319,1             | 318,3             | 19,76             | 20,16             | 42,63 | 43,49 | 31,6              | 30,4               | 206              | 85               | 146              |
| MittelS2_11         | 17:11:50 | 0,24             | 1,19                      | 277 | 1,98 | 0,31  | 0,015 | 311,8             | 311,4             | 22,37             | 22,73             | 48,87 | 49,66 | 31,4              | 30,1               | 50               | 76               | 63               |
| MittelS2_12         | 18:23:53 | -0,09            | -0,45                     | 316 | 1,99 | 0,50  | 0,025 | 320,4             | 320,3             | 19,50             | 20,09             | 44,77 | 46,11 | 30,5              | 29,0               | 64               | 54               | 59               |
| MittelS2_13         | 18:57:12 | -0,39            | -1,93                     | 443 | 1,57 | 0,08  | 0,005 | 323,6             | 324,0             | 21,58             | 21,67             | 53,07 | 53,29 | 29,3              | 27,8               | 23               | 36               | 30               |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| TiefS2_1            | 7:24:11  | -0,39            | -1,96                     | 381 | 1,11 | 0,21  | 0,019 | 354,6             | 355,0             | 16,79             | 17,04             | 54,37 | 55,18 | 24,7              | 23,1               | 12               | 35               | 24               |
| TiefS2_2            | 8:20:29  | 1,07             | 5,35                      | 266 | 1,09 | 0,25  | 0,022 | 349,9             | 348,5             | 17,34             | 17,63             | 55,69 | 56,63 | 24,8              | 23,3               | 37               | 54               | 46               |
| TiefS2_3            | 9:17:58  | 0,61             | 3,04                      | 307 | 1,45 | 0,47  | 0,032 | 346,5             | 345,5             | 17,85             | 18,40             | 49,63 | 51,16 | 27,3              | 25,7               | 52               | 63               | 58               |
| TiefS2_4            | 10:25:15 | 0,00             | 0,01                      | 322 | 2,02 | 0,49  | 0,024 | 333,4             | 333,2             | 18,43             | 19,00             | 42,66 | 43,98 | 30,4              | 28,6               | 37               | 117              | 77               |
| TiefS2_5            | 11:26:00 | 0,65             | 3,24                      | 274 | 2,02 | 0,50  | 0,025 | 327,9             | 326,9             | 19,25             | 19,84             | 44,40 | 45,76 | 30,5              | 29,0               | 38               | 141              | 90               |
| TiefS2_6            | 12:23:03 | 0,84             | 4,18                      | 261 | 3,07 | 0,84  | 0,027 | 327,6             | 326,3             | 20,17             | 21,15             | 36,40 | 38,17 | 34,8              | 33,5               | 94               | 227              | 161              |
| TiefS2_7            | 13:24:18 | -0,80            | -4,00                     | 359 | 3,15 | 0,91  | 0,028 | 330,9             | 331,5             | 19,70             | 20,76             | 34,19 | 36,04 | 35,5              | 33,7               | 56               | 138              | 97               |
| TiefS2_8            | 14:25:18 | 0,21             | 1,07                      | 281 | 3,06 | 0,51  | 0,016 | 317,6             | 317,2             | 19,37             | 19,97             | 36,08 | 37,19 | 34,3              | 33,1               | 67               | 639              | 353              |
| TiefS2_9            | 15:27:08 | 1,27             | 6,35                      | 140 | 3,40 | 0,43  | 0,012 | 320,8             | 319,2             | 19,53             | 20,03             | 35,67 | 36,59 | 34,6              | 34,3               | 42               | 565              | 304              |
| TiefS2_10           | 16:36:11 | 0,55             | 2,75                      | 257 | 2,68 | 0,41  | 0,015 | 330,4             | 329,6             | 22,86             | 23,33             | 41,61 | 42,48 | 34,7              | 32,9               | 21               | 160              | 91               |
| TiefS2_11           | 17:18:37 | 0,31             | 1,55                      | -24 | 2,15 | 0,03  | 0,001 | 318,0             | 317,7             | 22,26             | 22,29             | 47,14 | 47,22 | 32,0              | 30,5               | 24               | 233              | 129              |
| TiefS2_12           | 18:33:37 | -0,37            | -1,83                     | 342 | 1,94 | 0,45  | 0,023 | 326,5             | 326,8             | 21,05             | 21,58             | 47,55 | 48,75 | 30,8              | 29,4               | 9                | 41               | 25               |
| TiefS2_13           | 19:09:35 | -0,25            | -1,26                     | 379 | 1,70 | 0,14  | 0,008 | 338,4             | 338,7             | 22,07             | 22,24             | 51,50 | 51,88 | 30,3              | 28,7               | 5                | 20               | 13               |

**Tabelle A XIII:** Tagesgang im Botanischen Garten der Universität Ulm am 12.05.2004 für die Stängel 1-10 (S1-S10). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonenflussdichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonenflussdichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet. Während des Tagesganges fiel nach dem zweiten Messgang der Außensensor (PFD<sub>o</sub>) aus.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| S1                  | 8:09:07  | 1,19             | 7,14                      | 241 | 1,40 | 0,28  | 0,019 | 352,9             | 351,3             | 10,53             | 10,86             | 38,71 | 39,92 | 21,5              | 20,5               | 56               | 71               | 64               |
| S1                  | 10:31:47 | 1,71             | 10,26                     | 288 | 1,68 | 0,61  | 0,034 | 380,1             | 377,8             | 11,59             | 12,31             | 38,28 | 40,68 | 23,2              | 23,1               | 91               | 116              | 104              |
| S1                  | 0:21:04  | 2,55             | 15,30                     | 197 | 1,76 | 0,61  | 0,032 | 335,6             | 332,3             | 11,22             | 11,94             | 36,07 | 38,40 | 23,7              | 23,4               | 531              | 1                | 266              |
| S1                  | 14:32:24 | 0,31             | 1,85                      | 304 | 1,59 | 0,39  | 0,023 | 335,5             | 334,9             | 10,28             | 10,74             | 35,52 | 37,11 | 22,5              | 21,7               | 70               | 1                | 36               |
| S1                  | 16:31:32 | 2,72             | 16,32                     | 193 | 1,68 | 0,60  | 0,033 | 337,5             | 334,0             | 10,46             | 11,17             | 35,14 | 37,51 | 22,9              | 22,5               | 736              | 1                | 369              |
| S2                  | 8:11:26  | 2,53             | 12,65                     | 206 | 1,35 | 0,43  | 0,030 | 352,9             | 349,7             | 10,58             | 11,09             | 39,18 | 41,05 | 21,4              | 20,3               | 46               | 68               | 57               |
| S2                  | 10:37:06 | 3,11             | 15,55                     | 158 | 1,74 | 0,54  | 0,029 | 341,9             | 337,9             | 11,62             | 12,26             | 36,70 | 38,73 | 24,0              | 23,5               | 84               | 117              | 101              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| S2                  | 12:23:42 | 3,10             | 15,50                     | 230 | 1,67 | 0,96  | 0,054 | 335,8             | 331,7             | 11,04             | 12,18             | 35,40 | 39,06 | 23,7              | 23,0               | 784              | 1                | 393              |
| S2                  | 14:34:00 | 1,06             | 5,30                      | 265 | 1,55 | 0,47  | 0,029 | 334,1             | 332,6             | 10,26             | 10,82             | 36,23 | 38,21 | 22,1              | 21,5               | 64               | 1                | 33               |
| S2                  | 16:32:58 | 3,21             | 16,05                     | 167 | 1,65 | 0,58  | 0,033 | 335,9             | 331,8             | 10,55             | 11,24             | 35,73 | 38,05 | 22,8              | 22,3               | 698              | 0                | 349              |
| S3                  | 8:13:36  | 1,59             | 9,54                      | 104 | 1,33 | 0,15  | 0,011 | 352,0             | 350,0             | 10,97             | 11,15             | 41,09 | 41,76 | 21,2              | 20,2               | 55               | 76               | 66               |
| S3                  | 10:40:11 | 3,00             | 18,00                     | 243 | 1,68 | 0,82  | 0,046 | 362,5             | 358,5             | 12,01             | 12,98             | 37,31 | 40,32 | 24,3              | 23,5               | 81               | 128              | 105              |
| S3                  | 12:26:19 | 3,60             | 21,60                     | 201 | 1,69 | 0,86  | 0,048 | 335,8             | 331,2             | 10,92             | 11,94             | 35,23 | 38,53 | 23,6              | 23,0               | 819              | 1                | 410              |
| S3                  | 14:36:07 | 1,18             | 7,08                      | 230 | 1,51 | 0,33  | 0,020 | 333,6             | 332,0             | 10,32             | 10,71             | 36,93 | 38,32 | 21,9              | 21,1               | 60               | 1                | 31               |
| S3                  | 16:36:00 | 3,26             | 19,56                     | 216 | 1,65 | 0,86  | 0,049 | 335,8             | 331,6             | 10,21             | 11,23             | 34,28 | 37,72 | 22,9              | 22,3               | 667              | 0                | 334              |
| S4                  | 8:15:23  | 2,02             | 12,12                     | 216 | 1,25 | 0,34  | 0,025 | 353,4             | 350,9             | 11,20             | 11,60             | 42,13 | 43,64 | 21,1              | 20,0               | 52               | 45               | 49               |
| S4                  | 10:43:03 | 2,41             | 14,46                     | 229 | 1,69 | 0,64  | 0,036 | 350,3             | 347,2             | 12,14             | 12,90             | 37,70 | 40,06 | 24,3              | 23,5               | 84               | 121              | 103              |
| S4                  | 12:27:53 | 3,22             | 19,32                     | 209 | 1,71 | 0,83  | 0,046 | 335,4             | 331,2             | 10,74             | 11,72             | 35,05 | 38,25 | 23,4              | 23,0               | 879              | 1                | 440              |
| S4                  | 14:37:26 | 0,90             | 5,38                      | 263 | 1,49 | 0,38  | 0,024 | 333,8             | 332,5             | 10,26             | 10,71             | 36,93 | 38,54 | 21,8              | 21,0               | 55               | 1                | 28               |
| S4                  | 16:37:48 | 2,54             | 15,24                     | 227 | 1,66 | 0,74  | 0,042 | 336,2             | 332,8             | 10,47             | 11,35             | 34,95 | 37,89 | 23,0              | 22,5               | 749              | 1                | 375              |
| S5                  | 8:18:02  | 3,20             | 19,20                     | 218 | 1,24 | 0,56  | 0,042 | 351,2             | 347,1             | 11,38             | 12,04             | 42,64 | 45,10 | 21,2              | 20,2               | 71               | 93               | 82               |
| S5                  | 10:44:29 | 2,31             | 13,86                     | 228 | 1,67 | 0,64  | 0,036 | 342,1             | 339,0             | 11,82             | 12,59             | 36,81 | 39,19 | 24,2              | 23,2               | 92               | 133              | 113              |
| S5                  | 12:30:25 | 4,09             | 24,54                     | 205 | 1,71 | 1,03  | 0,057 | 335,9             | 330,6             | 11,24             | 12,46             | 36,17 | 40,07 | 23,7              | 23,4               | 902              | 1                | 452              |
| S5                  | 14:39:52 | 1,12             | 6,72                      | 276 | 1,46 | 0,55  | 0,035 | 336,5             | 334,9             | 10,19             | 10,85             | 37,04 | 39,40 | 21,6              | 20,9               | 65               | 1                | 33               |
| S5                  | 16:39:35 | 3,62             | 21,72                     | 193 | 1,68 | 0,77  | 0,043 | 342,0             | 337,4             | 10,57             | 11,49             | 34,82 | 37,83 | 23,2              | 22,7               | 723              | 0                | 362              |
| S6                  | 8:23:04  | 2,78             | 13,90                     | 224 | 1,47 | 0,59  | 0,038 | 354,6             | 351,0             | 11,20             | 11,90             | 41,87 | 44,49 | 21,2              | 21,7               | 50               | 112              | 81               |
| S6                  | 10:47:59 | 3,44             | 17,20                     | 193 | 1,79 | 0,81  | 0,043 | 336,9             | 332,5             | 11,76             | 12,72             | 37,64 | 40,71 | 23,8              | 24,0               | 88               | 151              | 120              |
| S6                  | 12:33:20 | 2,79             | 13,95                     | 225 | 1,78 | 0,87  | 0,046 | 335,9             | 332,3             | 11,62             | 12,65             | 35,92 | 39,12 | 24,3              | 23,9               | 695              | 1                | 348              |
| S6                  | 14:42:23 | 1,28             | 6,40                      | 251 | 1,44 | 0,41  | 0,027 | 336,3             | 334,6             | 10,36             | 10,85             | 37,92 | 39,72 | 21,5              | 20,8               | 97               | 0                | 49               |
| S6                  | 16:41:56 | 3,76             | 18,80                     | 219 | 1,68 | 0,98  | 0,055 | 343,0             | 338,1             | 10,55             | 11,71             | 34,50 | 38,31 | 23,4              | 22,8               | 787              | 1                | 394              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| S7                  | 8:25:52  | 2,75             | 16,50                     | 219 | 1,50 | 0,60  | 0,037 | 349,4             | 345,9             | 11,15             | 11,85             | 41,20 | 43,82 | 21,4              | 21,8               | 89               | 109              | 99               |
| S7                  | 10:51:34 | 3,03             | 18,18                     | 203 | 1,74 | 0,75  | 0,040 | 337,0             | 333,1             | 11,92             | 12,81             | 37,44 | 40,21 | 24,1              | 23,8               | 117              | 153              | 135              |
| S7                  | 12:36:12 | 3,01             | 18,06                     | 224 | 1,86 | 0,97  | 0,049 | 336,2             | 332,2             | 11,14             | 12,30             | 34,33 | 37,88 | 24,4              | 24,1               | 865              | 0                | 433              |
| S7                  | 14:45:25 | 1,35             | 8,10                      | 250 | 1,41 | 0,40  | 0,027 | 341,0             | 339,2             | 10,48             | 10,96             | 38,53 | 40,29 | 21,5              | 20,7               | 96               | 1                | 49               |
| S7                  | 16:43:48 | 2,61             | 15,66                     | 192 | 1,74 | 0,59  | 0,031 | 337,8             | 334,4             | 10,72             | 11,42             | 34,84 | 37,10 | 23,5              | 23,0               | 696              | 0                | 348              |
| S8                  | 8:28:39  | 2,39             | 17,93                     | 210 | 1,51 | 0,48  | 0,030 | 351,0             | 348,0             | 11,38             | 11,95             | 41,71 | 43,79 | 21,5              | 21,9               | 93               | 123              | 108              |
| S8                  | 10:54:09 | 2,65             | 19,88                     | 200 | 1,74 | 0,64  | 0,034 | 336,3             | 332,9             | 11,78             | 12,54             | 36,79 | 39,15 | 24,2              | 23,6               | 116              | 154              | 135              |
| S8                  | 12:39:55 | 2,76             | 20,70                     | 231 | 1,88 | 0,98  | 0,049 | 335,9             | 332,2             | 11,87             | 13,02             | 35,19 | 38,62 | 25,0              | 24,6               | 794              | 1                | 398              |
| S8                  | 14:47:31 | 0,76             | 5,69                      | 279 | 1,40 | 0,35  | 0,024 | 339,2             | 338,1             | 10,62             | 11,04             | 39,20 | 40,75 | 21,4              | 20,7               | 74               | 1                | 38               |
| S8                  | 16:46:06 | 2,96             | 22,20                     | 200 | 1,73 | 0,71  | 0,039 | 336,0             | 332,2             | 11,05             | 11,89             | 35,33 | 38,03 | 23,7              | 23,2               | 958              | 1                | 480              |
| S9                  | 8:32:43  | 2,95             | 14,75                     | 223 | 1,33 | 0,60  | 0,042 | 346,9             | 343,1             | 11,11             | 11,82             | 40,78 | 43,39 | 21,5              | 20,7               | 870              | 943              | 907              |
| S9                  | 10:56:19 | 3,45             | 17,25                     | 126 | 1,74 | 0,52  | 0,028 | 335,8             | 331,4             | 11,64             | 12,26             | 36,30 | 38,23 | 24,2              | 23,4               | 988              | 1113             | 1051             |
| S9                  | 12:41:56 | 4,23             | 21,15                     | 159 | 2,20 | 1,00  | 0,042 | 335,6             | 330,2             | 11,96             | 13,14             | 34,28 | 37,68 | 25,6              | 26,3               | 149              | 1                | 75               |
| S9                  | 14:49:34 | 1,42             | 7,10                      | 239 | 1,40 | 0,39  | 0,026 | 336,1             | 334,2             | 10,57             | 11,03             | 39,14 | 40,85 | 21,3              | 20,6               | 110              | 0                | 55               |
| S9                  | 16:49:22 | 3,69             | 18,45                     | 170 | 1,79 | 0,74  | 0,039 | 336,2             | 331,5             | 11,02             | 11,90             | 34,90 | 37,70 | 23,9              | 23,5               | 220              | 1                | 111              |
| S10                 | 8:30:55  | 2,69             | 16,14                     | 213 | 1,31 | 0,48  | 0,035 | 347,8             | 344,3             | 11,23             | 11,80             | 41,19 | 43,30 | 21,5              | 20,5               | 877              | 926              | 902              |
| S10                 | 10:58:51 | 3,31             | 19,86                     | 123 | 1,81 | 0,51  | 0,027 | 336,1             | 331,9             | 11,15             | 11,76             | 34,57 | 36,46 | 24,3              | 23,6               | 994              | 1140             | 1067             |
| S10                 | 12:43:56 | 1,46             | 8,76                      | 258 | 2,01 | 0,77  | 0,036 | 336,7             | 334,6             | 11,66             | 12,58             | 32,83 | 35,41 | 25,9              | 25,1               | 242              | 1                | 122              |
| S10                 | 14:51:02 | 0,88             | 5,29                      | 262 | 1,40 | 0,33  | 0,022 | 336,3             | 335,1             | 10,62             | 11,00             | 39,28 | 40,70 | 21,3              | 20,6               | 96               | 1                | 49               |
| S10                 | 16:52:11 | 2,78             | 16,68                     | 199 | 1,83 | 0,70  | 0,036 | 336,3             | 332,6             | 10,75             | 11,59             | 33,59 | 36,19 | 24,1              | 23,6               | 215              | 1                | 108              |

**Tabelle A XIV:** Tagesgang im Botanischen Garten der Universität Ulm am 19.05.2004 für die Stängel 1-10 (S1-S10). Die CO<sub>2</sub>-Austauschrate bezogen auf das Blatt des jeweiligen Stängels (J<sub>CO<sub>2</sub></sub>-Blatt) wurde aus der Kammerfläche (6 cm<sup>2</sup>) dividiert durch den doppelten Durchmesser des Blattes (bifaciales Blatt) und multipliziert mit dem Messwert errechnet. Die mittlere Photonendichte (PFD<sub>m</sub>) wurde aus der inneren (PFD<sub>i</sub>; Sensor innerhalb der Kammer) und äußeren Photonendichte (PFD<sub>o</sub>; Sensor außerhalb der Kammer) gemittelt. Fehlende Messungsnummern wurden nicht gewertet. Während des Tagesganges fiel nach dem zweiten Messgang der Außensensor (PFD<sub>o</sub>) aus.

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | J <sub>CO<sub>2</sub></sub> | J <sub>CO<sub>2</sub></sub><br>Blatt | C <sub>i</sub> | VpdL | Trans | g      | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------|------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| S1                  | 8:33:21  | -0,27                       | -1,61                                | 239            | 1,65 | -0,08 | -0,004 | 347,3             | 347,7             | 12,92             | 12,83             | 41,63 | 41,34 | 23,8              | 23,3               | 53               | 639              | 346              |
| S1                  | 10:25:34 | 3,88                        | 23,28                                | 191            | 2,11 | 1,03  | 0,046  | 341,8             | 336,7             | 12,17             | 13,39             | 34,04 | 37,45 | 26,2              | 26,1               | 100              | 1051             | 576              |
| S1                  | 12:14:40 | 0,85                        | 5,12                                 | 275            | 2,04 | 0,66  | 0,031  | 332,5             | 331,2             | 11,94             | 12,72             | 34,18 | 36,42 | 25,8              | 25,4               | 58               | 187              | 123              |
| S1                  | 14:12:00 | 3,23                        | 19,38                                | 205            | 2,15 | 1,07  | 0,047  | 331,3             | 327,0             | 11,87             | 13,14             | 33,57 | 37,14 | 26,0              | 26,2               | 533              | 197              | 365              |
| S1                  | 16:36:22 | 4,29                        | 25,74                                | 214            | 2,23 | 1,57  | 0,067  | 335,1             | 329,3             | 11,17             | 13,03             | 30,70 | 35,82 | 26,4              | 26,5               | 1011             | 97               | 554              |
| S2                  | 8:36:20  | 3,18                        | 15,90                                | 220            | 1,54 | 0,69  | 0,043  | 352,0             | 347,9             | 12,58             | 13,41             | 40,64 | 43,29 | 23,8              | 23,0               | 40               | 450              | 245              |
| S2                  | 10:27:23 | 5,48                        | 27,40                                | 167            | 2,14 | 1,28  | 0,057  | 340,9             | 333,8             | 12,11             | 13,63             | 33,43 | 37,62 | 26,4              | 26,3               | 93               | 1086             | 590              |
| S2                  | 12:15:51 | 1,60                        | 8,00                                 | 240            | 2,02 | 0,69  | 0,032  | 331,8             | 329,6             | 11,73             | 12,55             | 33,72 | 36,08 | 25,7              | 25,2               | 60               | 161              | 111              |
| S2                  | 14:13:42 | 2,35                        | 11,75                                | 235            | 2,18 | 1,07  | 0,046  | 330,6             | 327,4             | 11,68             | 12,94             | 32,38 | 35,89 | 26,3              | 26,2               | 249              | 167              | 208              |
| S2                  | 16:37:59 | 4,61                        | 23,05                                | 197            | 2,29 | 1,49  | 0,062  | 334,2             | 328,1             | 11,14             | 12,91             | 30,09 | 34,87 | 26,7              | 26,7               | 913              | 89               | 501              |
| S3                  | 8:39:28  | 2,34                        | 14,04                                | 273            | 1,49 | 0,71  | 0,045  | 368,4             | 365,3             | 12,76             | 13,60             | 41,56 | 44,29 | 23,6              | 22,8               | 56               | 480              | 268              |
| S3                  | 10:30:41 | 4,93                        | 29,58                                | 181            | 2,16 | 1,29  | 0,057  | 338,5             | 332,1             | 11,93             | 13,46             | 32,44 | 36,58 | 26,7              | 26,4               | 82               | 1152             | 617              |
| S3                  | 12:18:43 | 1,31                        | 7,86                                 | 258            | 2,02 | 0,72  | 0,034  | 333,2             | 331,3             | 11,41             | 12,27             | 33,00 | 35,47 | 25,6              | 25,1               | 67               | 193              | 130              |
| S3                  | 14:16:15 | 1,72                        | 10,32                                | 254            | 2,23 | 1,07  | 0,045  | 329,7             | 327,3             | 11,80             | 13,06             | 31,93 | 35,36 | 26,7              | 26,5               | 151              | 222              | 187              |
| S3                  | 16:39:35 | 4,49                        | 26,94                                | 186            | 2,32 | 1,38  | 0,056  | 332,7             | 326,7             | 11,23             | 12,86             | 29,80 | 34,12 | 27,0              | 26,8               | 832              | 107              | 470              |
| S4                  | 8:41:42  | 3,63                        | 21,78                                | 219            | 1,50 | 0,69  | 0,044  | 365,9             | 361,2             | 12,69             | 13,51             | 41,68 | 44,36 | 23,5              | 22,8               | 47               | 531              | 289              |
| S4                  | 10:32:27 | 5,12                        | 30,72                                | 168            | 2,23 | 1,28  | 0,055  | 337,5             | 330,8             | 11,99             | 13,51             | 32,31 | 36,40 | 26,8              | 26,7               | 72               | 1131             | 602              |
| S4                  | 12:21:15 | 1,23                        | 7,38                                 | 241            | 2,09 | 0,56  | 0,025  | 331,6             | 329,9             | 11,62             | 12,28             | 33,45 | 35,35 | 25,7              | 25,4               | 73               | 536              | 305              |
| S4                  | 14:18:45 | 2,48                        | 14,88                                | 219            | 2,33 | 1,00  | 0,041  | 332,6             | 329,2             | 11,50             | 12,68             | 30,38 | 33,51 | 27,1              | 26,8               | 198              | 214              | 206              |
| S4                  | 16:41:59 | 3,78                        | 22,68                                | 208            | 2,39 | 1,40  | 0,056  | 335,2             | 330,1             | 11,25             | 12,91             | 29,36 | 33,69 | 27,3              | 27,2               | 986              | 111              | 549              |

| Stängel/<br>Messung | Zeit     | Jco <sub>2</sub> | Jco <sub>2</sub><br>Blatt | Ci  | VpdL | Trans | g     | CO <sub>2</sub> R | CO <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> OR | H <sub>2</sub> OS | RH_R  | RH_S  | T <sub>Luft</sub> | T <sub>Blatt</sub> | PFD <sub>i</sub> | PFD <sub>o</sub> | PFD <sub>m</sub> |
|---------------------|----------|------------------|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| S5                  | 8:43:36  | 3,85             | 23,10                     | 208 | 1,51 | 0,76  | 0,048 | 350,2             | 345,3             | 12,63             | 13,53             | 41,42 | 44,39 | 23,5              | 22,9               | 67               | 724              | 396              |
| S5                  | 10:33:40 | 4,98             | 29,88                     | 168 | 2,26 | 1,29  | 0,054 | 334,1             | 327,7             | 12,08             | 13,61             | 32,10 | 36,15 | 27,1              | 26,9               | 100              | 1090             | 595              |
| S5                  | 12:24:52 | 1,77             | 10,62                     | 237 | 2,09 | 0,74  | 0,033 | 335,5             | 333,1             | 11,86             | 12,74             | 33,53 | 36,00 | 26,0              | 25,7               | 129              | 585              | 357              |
| S5                  | 14:20:19 | 2,70             | 16,20                     | 209 | 2,31 | 1,00  | 0,041 | 331,1             | 327,4             | 11,89             | 13,07             | 31,05 | 34,14 | 27,3              | 26,9               | 340              | 169              | 255              |
| S5                  | 16:43:27 | 3,33             | 19,98                     | 204 | 2,44 | 1,23  | 0,048 | 333,3             | 328,9             | 11,20             | 12,65             | 28,88 | 32,63 | 27,5              | 27,3               | 1053             | 108              | 581              |
| S6                  | 8:47:06  | 2,76             | 13,80                     | 240 | 1,46 | 0,62  | 0,041 | 362,1             | 358,5             | 13,09             | 13,83             | 42,72 | 45,12 | 23,6              | 22,7               | 96               | 194              | 145              |
| S6                  | 10:35:41 | 5,03             | 25,15                     | 156 | 2,45 | 1,28  | 0,050 | 337,3             | 330,8             | 12,11             | 13,63             | 31,87 | 35,87 | 27,2              | 27,8               | 135              | 787              | 461              |
| S6                  | 12:27:40 | 5,22             | 26,10                     | 159 | 2,13 | 1,18  | 0,053 | 337,0             | 330,3             | 12,02             | 13,42             | 32,92 | 36,75 | 26,5              | 26,2               | 449              | 244              | 347              |
| S6                  | 14:22:07 | 6,21             | 31,05                     | 165 | 2,30 | 1,67  | 0,069 | 329,5             | 321,4             | 11,66             | 13,64             | 30,35 | 35,51 | 27,4              | 27,1               | 1199             | 159              | 679              |
| S6                  | 16:45:18 | 6,36             | 31,80                     | 161 | 2,44 | 1,72  | 0,067 | 334,9             | 326,6             | 11,24             | 13,27             | 28,53 | 33,69 | 27,8              | 27,6               | 1306             | 99               | 703              |
| S7                  | 8:53:17  | 2,00             | 10,00                     | 281 | 1,52 | 0,78  | 0,049 | 358,7             | 355,9             | 13,24             | 14,16             | 41,77 | 44,69 | 24,2              | 23,3               | 67               | 330              | 199              |
| S7                  | 10:40:00 | 2,24             | 11,20                     | 275 | 2,39 | 1,02  | 0,040 | 381,7             | 378,5             | 11,84             | 13,04             | 31,39 | 34,57 | 27,1              | 27,2               | 139              | 593              | 366              |
| S7                  | 12:29:53 | 3,07             | 15,35                     | 188 | 2,27 | 0,93  | 0,039 | 330,4             | 326,4             | 12,38             | 13,48             | 32,71 | 35,62 | 27,1              | 26,9               | 205              | 280              | 243              |
| S7                  | 14:24:02 | 4,00             | 20,00                     | 180 | 2,45 | 1,26  | 0,049 | 330,4             | 325,1             | 12,01             | 13,50             | 30,59 | 34,38 | 27,8              | 27,8               | 861              | 212              | 537              |
| S7                  | 16:48:45 | 3,87             | 19,35                     | 199 | 2,52 | 1,44  | 0,054 | 332,3             | 327,1             | 11,21             | 12,92             | 27,75 | 31,97 | 28,2              | 27,8               | 757              | 106              | 432              |
| S8                  | 8:55:40  | 1,00             | 7,50                      | 277 | 1,52 | 0,43  | 0,027 | 346,6             | 345,3             | 13,25             | 13,76             | 42,24 | 43,87 | 24,0              | 23,1               | 29               | 149              | 89               |
| S8                  | 10:42:12 | 2,46             | 18,45                     | 239 | 2,44 | 1,01  | 0,039 | 356,5             | 353,1             | 11,65             | 12,86             | 30,60 | 33,76 | 27,2              | 27,4               | 110              | 769              | 440              |
| S8                  | 12:32:49 | 2,03             | 15,23                     | 223 | 2,38 | 0,80  | 0,032 | 341,6             | 338,8             | 12,40             | 13,35             | 31,57 | 33,96 | 27,8              | 27,3               | 137              | 251              | 194              |
| S8                  | 14:26:20 | 2,62             | 19,65                     | 202 | 2,59 | 1,03  | 0,038 | 330,4             | 326,9             | 12,42             | 13,65             | 30,30 | 33,30 | 28,5              | 28,4               | 725              | 206              | 466              |
| S8                  | 16:50:49 | 2,86             | 21,45                     | 204 | 2,63 | 1,15  | 0,041 | 332,4             | 328,5             | 11,32             | 12,68             | 27,69 | 31,04 | 28,4              | 28,2               | 508              | 108              | 308              |
| S9                  | 8:49:23  | 2,15             | 10,75                     | 263 | 1,49 | 0,74  | 0,047 | 347,3             | 344,5             | 13,09             | 13,96             | 42,23 | 45,05 | 23,8              | 23,0               | 106              | 150              | 128              |
| S9                  | 10:37:53 | 2,66             | 13,30                     | 220 | 2,21 | 1,01  | 0,043 | 333,5             | 329,9             | 11,70             | 12,90             | 30,97 | 34,14 | 27,1              | 26,3               | 174              | 170              | 172              |
| S9                  | 12:35:49 | 3,43             | 17,15                     | 185 | 2,33 | 1,04  | 0,042 | 332,2             | 327,7             | 12,04             | 13,27             | 30,61 | 33,74 | 27,8              | 27,1               | 260              | 102              | 181              |
| S9                  | 14:28:20 | 3,61             | 18,05                     | 187 | 2,65 | 1,31  | 0,047 | 329,6             | 324,8             | 12,48             | 14,03             | 29,47 | 33,14 | 29,1              | 28,9               | 229              | 188              | 209              |

|     |          |      |       |     |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |     |      |     |
|-----|----------|------|-------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|-----|
| S9  | 16:53:31 | 5,31 | 26,55 | 165 | 2,73 | 1,71 | 0,059 | 329,9 | 322,9 | 11,30 | 13,32 | 26,80 | 31,60 | 29,0 | 28,9 | 71  | 1068 | 570 |
| S10 | 8:56:57  | 0,28 | 1,67  | 320 | 1,50 | 0,43 | 0,027 | 346,1 | 345,6 | 13,02 | 13,53 | 41,77 | 43,41 | 23,9 | 22,8 | 93  | 56   | 75  |
| S10 | 10:43:57 | 2,52 | 15,12 | 228 | 2,29 | 1,01 | 0,042 | 340,9 | 337,5 | 11,76 | 12,95 | 30,68 | 33,80 | 27,4 | 26,7 | 787 | 138  | 463 |
| S10 | 12:39:06 | 2,53 | 15,18 | 170 | 2,39 | 0,72 | 0,028 | 329,2 | 325,9 | 11,81 | 12,66 | 30,74 | 32,94 | 27,4 | 27,1 | 857 | 174  | 516 |
| S10 | 14:31:25 | 3,24 | 19,44 | 173 | 2,80 | 1,10 | 0,037 | 330,9 | 326,6 | 12,20 | 13,51 | 27,80 | 30,79 | 29,7 | 29,3 | 497 | 173  | 335 |
| S10 | 16:56:40 | 2,86 | 17,16 | 182 | 2,81 | 1,05 | 0,035 | 330,7 | 326,8 | 11,54 | 12,78 | 26,78 | 29,65 | 29,4 | 29,0 | 76  | 1093 | 585 |

## Danksagung

Vorerst möchte ich allen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben: Danke! Спасибо!

Allem voran möchte ich meinem Doktorvater Professor Dr. Marian Kazda, der mir die Möglichkeit zu dieser Promotion gegeben hat, ganz besonders danken. Ich bedanke mich für die gute Betreuung, ständige Diskussionsbereitschaft, die Beantwortung aller Fragen, die Geduld und die angenehme Atmosphäre in der Arbeitsgruppe.

Mein ganz besonderer Dank gilt Professor Dr. Valery Yakovlev und seiner Familie. Ohne seinen Einsatz und Organisation hätte das gesamte Projekt in Kazan keinerlei Erfolg gehabt. Ich bedanke mich für seine ständige Hilfsbereitschaft und die Bereitschaft die entstandenen Probleme zu lösen. Спасибо!

Für die Übernahme des Zweitgutachtens bedanke ich mich bei Professor Dr. Manfred Ayasse.

Für die Hilfe und schöne, freundschaftliche aber auch manchmal schwierige Zeit in Russland aber auch in Deutschland bedanke ich mich bei „Gängster“ mittlerweile Dr. Norbert Gäng! Vielen Dank für die hilfreichen Anmerkungen zu meinem Manuskript.

Für die Organisation von Einsätzen im Feld und die Bereitstellung von Räumlichkeiten in Russland bedanke ich mich bei Dr. Dima Ivanov und der Akademie der Wissenschaften der Republik Tatarstan, Institut für Ökologie der Natursysteme in Kazan, Russland.

Für die Hilfe bei Installationen, Messungen und Ernte bedanke ich mich besonders bei Wadim Maxnin, Sergey Amenitsky, Dima Averjanow, Vitaly Malanin, Aljoshka Yakovlev, Dr. Phillip von Wrangel sowie vielen anderen. Ein besonderer Dank gilt unseren Chauffeuren besonders Rifkat Aslanov. Für die Durchführung von Messungen im Botanischen Garten bedanke ich mich bei Sergey Amenitsky.

Der gesamten Abteilung Systematische Botanik und Ökologie danke ich für die mehr als angenehme und entspannte Arbeitsatmosphäre. Speziell bedanke ich mich besonders bei Dr. Phillip von Wrangel (soziale und organisatorische Unterstützung), Kordula Heinen, Dr. Jörg Salzer, Raphael Mainiero (wissenschaftliche und statistische Fragen) sowie Dr. Herman Muhle. Bei Maria Sponholz bedanke ich mich für die Anfertigung der Analysen.

Für die soziale Unterstützung während der Aufenthalte in Kazan danke ich Wadim und Frida Maxnim, Lilia Chaliullina, Elvira Machnow sowie Marina Borisowitsh und Dr. Tatjana Kondratyeva und vielen anderen.

Für orthographische und grammatikalische Korrekturen meines Manuskriptes bedanke ich mich besonders bei Dr. Jürgen Otto, Dr. Sandra Otto, Irene und Dieter Leffler. Für die Englischkorrektur bedanke ich mich bei Jan Moltzer.

Für die seelische und moralische Unterstützung bedanke ich mich bei allen meinen Freunden.

Für ihre Geduld und Unterstützung bedanke ich mich bei meinen Kindern und Familie. Für die finanzielle Unterstützung bedanke ich mich bei der Volkswagenstiftung.

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Ferner erkläre ich, dass ich weder an der Universität Ulm, noch anderweitig mit oder ohne Erfolg, versucht habe eine Dissertation einzureichen, bzw. mich einer Doktorprüfung zu unterziehen.

Sascha Leffler

## ***Lebenslauf***

### *Persönliche Angaben*

Name: Sascha Wilhelm Leffler  
Geburtsdatum: 25.01.1971  
Geburtsort: Lübeck

### *Schulische Ausbildung*

1977-1983 Grundschule und Förderstufe Fasanenhofschule in Kassel  
1983-1990 Goetheschule (Gymnasium) in Kassel  
Schulabschluss mit Abitur im Juni 1990

### *Zivildienst*

1991-1992 Jugendherberge Kassel

### *Berufsausbildung*

1992-1994 Gärtner (Garten und Landschaftsbau) im Betrieb der Staatlichen Schlösser und Gärten Kassel-Wilhelmshöhe

### *Hochschulausbildung*

Oktober 1994 Studium der Biologie an der Martin-Luther Universität Halle -Wittenberg  
Diplomarbeit extern am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH – Sektion Biozönoseforschung  
Januar 2002 Erlangen des akademischen Grades Diplom-Biologe  
Thema der Diplomarbeit:  
„Zuwachsrate und Mortalität von Gehölzen entlang eines pH-Gradienten in den Kiefernforsten der Dübener Heide“

April 2002 – Juli 2005 Wissenschaftlicher Assistent in der Abteilung Systematische Botanik und Ökologie der Universität Ulm  
Mitarbeit im Projekt „Einfluss der Wasserspiegelschwankungen auf Typha-dominierte Litoralgesellschaften des Kuibyschew-Wasserreservoirs (Tatarstan, Russland)“

### *Berufsweiterbildung*

September 2005 – April 2006 Projektmanagement für den GUS-Markt  
Berufsausbildungszentrum Nauen

Sascha Leffler