













Transpiration pro km² in der Vegetationsperiode 1994/1995

	[mm/a]	[m³/Tag]	[l/sec]
	0 - 50	> 0 - 137	> 0 - 1,58
	> 50 - 100	> 137 - 274	> 1,58 - 3,17
	>100 - 150	> 274 - 411	> 3,17 - 4,75
	>150 - 200	> 411 - 548	> 4,75 - 6,34
	>200 - 250	> 548 - 684	> 6,34 - 7,92
	>250 - 300	> 684 - 821	> 7,92 - 9,51
	>300 - 350	> 821 - 958	> 9,51 - 11,09
	>350 - 400	> 958 - 1.095	>11,09 - 12,68
	>400 - 450	>1.095 - 1.232	>12,68 - 14,26
	>450 - 500	>1.232 - 1.369	>14,26 - 15,84
	>500 - 550	>1.369 - 1.506	>15,84 - 17,43
	>550 - 600	> 1.506	> 17,43

- Karte 1: Mais
- Karte 2: Winterweizen
- Karte 3: Zuckerrüben
- Karte 4: Kartoffeln
- Karte 5: Extensiv bewirtschaftete Wiese
- Karte 6: Sommergerste
- Karte 7: Intensiv bewirtschaftete Wiese

GLOBAL CHANGE ATLAS
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

2.8.1 Teilprojekt Pflanzenökologie
CO₂-Flüsse und Transpiration

Rastergröße: 1 x 1 km²

Maßstab: 1: 3.800.000

Maßstab: 1: 7.700.000



Datengrundlage:
Dynamisch gekoppelter Modelllauf basierend auf:
DANUBIA-Bodenarten
DANUBIA-Landbedeckung und Landnutzung (subskalige Karte),
Bewirtschaftungsinformationen (KTBL Kuratorium für Technik und
Bauwesen in der Landwirtschaft (2000/01): Taschenbuch Land-
wirtschaft 2000/01. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, und
Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und
Forsten (Hrsg.) (1996): Bayerischer Agrarbericht 1996, München)

Autoren:
V.I.S. Lenz-Wiedemann, T.G. Reichenau, C.W. Klar, K. Schneider
Geographisches Institut der Universität zu Köln

Grafik:
V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

2.8.1 Teilprojekt Pflanzenökologie - CO₂-Flüsse und Transpiration

1. Einleitung

Die Vegetation nimmt innerhalb des Wasserkreislaufs eine bedeutende Steuerfunktion ein, da die Pflanzen dem Boden Wasser entnehmen und dieses durch den Prozess der Transpiration an die Atmosphäre abgeben. Die Transpiration der Pflanzen, die Interzeptionsverdunstung benetzter Pflanzenbestände und die Bodenverdunstung bilden zusammen die Evapotranspiration.

Der Transpiration kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie in Vegetationsbeständen den weitaus größten Teil der Evapotranspiration ausmacht, aktiv von der Pflanze gesteuert wird und eng mit der CO₂-Aufnahme (Assimilation) der Vegetation gekoppelt ist. Sowohl die Wasserabgabe als auch der CO₂-Austausch finden über die Spaltöffnungen (Stomata) der Pflanzen statt.

Bei ausreichender Wasserversorgung werden die Spaltöffnungen durch die Photosynthese gesteuert. In diesem Fall wird die Transpiration durch die Assimilation bestimmt, welche (bezogen auf eine definierte Blattfläche) insbesondere von Strahlung, Lufttemperatur und Nährstoffverfügbarkeit abhängt. Bei Wassermangel hingegen wird die Öffnung der Stomata durch die verfügbare Wassermenge gesteuert. Somit ist die tatsächliche Transpiration geringer als die potentielle, gleichzeitig wird die Assimilation reduziert. Neben dieser direkten Kopplung von Assimilation und Transpiration bestehen vielfältige weitere Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwachstum und Wasserbedarf. So können Änderungen des Pflanzenwachstums die Blattfläche beeinflussen, welches sich auf die verdunstende Oberfläche und damit auf die Transpiration und Interzeption auswirkt.

Die Berechnung des gegenwärtigen und künftigen Wasserbedarfs und Wasserangebots erfordert daher die gekoppelte und prozessbasierte Modellierung der Wasser- und Kohlenstoffflüsse für alle Vegetationsklassen im Einzugsgebiet der Oberen Donau (siehe Kapitel 1.3). Bei Agrarökosystemen (z.B. Mais, Winterweizen, Grünland) ist die Berücksichtigung der landbaulichen Nutzungsform und ihrer Bewirtschaftung von großer Bedeutung, da diese den Wasserhaushalt beeinflussen.

Um die Wechselwirkungen zwischen Wasserbedarf und Pflanzenwachstum bei sich ändernden Klimabedingungen adäquat abzubilden, wurde die Modellkomponente *Biological* entwickelt. *Biological* modelliert die pflanzenphysiologische Steuerung von CO₂-, Wasser- und Stickstoffflüssen sowie das Pflanzenwachstum.

Auf Grundlage der in diesem Kapitel thematisierten Modellierung der Assimilation und Transpiration wird in einem weiteren Beitrag die Modellierung des Pflanzenwachstums und der Biomasseproduktion dargestellt (siehe Kapitel 2.8.2).

2. Datenaufbereitung

Als Eingangsgrößen für die Modellierung verwendet *Biological* die von den DANUBIA-Modellkomponenten *Atmosphere*, *RadiationBalance*, *Soil*, *SNT* (*Soil Nitrogen Transformation*) und *Farming* bereitgestellten Modellergebnisse. Die ersten drei Modellkomponenten liefern in stündlichen Zeitschritten die für das Pflanzenwachstum relevanten meteorologischen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Strahlung, atmosphärische CO₂-Konzentration, Windgeschwindigkeit, Luftdruck) und pedologischen (bodenschichtspezifischer Wasser-, Nitrat- und Ammoniumgehalt, Bodentemperatur) Umweltparameter.

Das Modell *Farming* liefert Entscheidungen über die landwirtschaftliche Bewirtschaftung (Landnutzung, Düngetermine und -mengen, Saat-, Schnitt- und Erntetermine). Die Schnitt- und Erntetermine werden von *Farming* u.a. in Abhängigkeit von der modellierten Biomasse bzw. der Reife dynamisch bestimmt. Zudem verwendet *Biological* die in Kapitel 1.2 dargestellten Bodenarten als Datengrundlage, um bodenphysikalische Parameter (Welkepunkt, Feldkapazität, Sättigungswassergehalt, Lagerungsdichte) abzuleiten.

3. Modellbeschreibung

Um die Gültigkeit der modellierten CO₂- und Wasserflüsse auch unter geänderten Umweltbedingungen zu gewährleisten, ist ein pflanzenphysiologisch basierter Modellansatz erforderlich. In *Biological* ist der in dem Modell GECROS (Yin & van Laar, 2005) implementierte Modellansatz zur gekoppelten Modellierung von Photosynthese

und Transpiration übernommen worden. Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte dieses Modellansatzes beschrieben.

Für die Modellierung des biochemischen Photosyntheseprozesses verwendet *Biological* den Modellansatz von Farquhar et al. (1980). Die Assimilation wird in Abhängigkeit von Strahlung, Lufttemperatur und atmosphärischer CO₂-Konzentration berechnet. Yin & van Laar (2005) haben dieses Photosynthesemodell für C₄-Pflanzen erweitert und um die Abhängigkeit der Photosynthese von photosynthetisch aktivem Blattstickstoff ergänzt.

Die Modellierung der potentiellen Transpiration basiert auf der Penman-Monteith-Gleichung und berücksichtigt das Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft sowie die berechnete Photosyntheserate. Ist nicht genügend pflanzenverfügbares Bodenwasser vorhanden, wird die potentielle Transpiration dementsprechend reduziert (tatsächliche Transpiration). Die Verringerung der Transpiration und damit des latenten Wärmeflusses beeinflusst die Blatttemperatur und wirkt so über die Temperaturabhängigkeit der biochemischen Photosynthesereaktionen auf die Photosynthese zurück.

Bei der Modellierung von Photosynthese und Transpiration in *Biological* werden somit nicht nur die prognostizierten Anstiege der Lufttemperatur und der atmosphärischen CO₂-Konzentration berücksichtigt, sondern auch die Verfügbarkeit von Wasser und Stickstoff. Um die nicht-lineare Reaktion von Photosynthese und Transpiration auf kurzfristige Änderungen der Umweltbedingungen zu erfassen, verwendet *Biological* stündliche Zeitschritte. Beide Prozesse werden zunächst auf der Blattskala modelliert, wobei zwischen Sonnen- und Schattenblättern differenziert wird. Anschließend werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Blattfläche sowie des Sonnen- und Schattenanteils auf den Pflanzenbestand übertragen.

Die grundlegenden Prozessbeschreibungen des CO₂- und Wasseraustausches in *Biological* sind für alle Vegetationsklassen gleichermaßen gültig, jedoch wird nach Art der Kohlenstofffixierung zwischen C₃- und C₄-Pflanzen unterschieden.

C₄-Pflanzen zeichnen sich gegenüber C₃-Pflanzen durch eine bessere Wasserausnutzungseffizienz aus, da sie weniger Wasser für die Biomasseproduktion benötigen. Mais als bedeutendster Vertreter der C₄-Nutzpflanzen in Europa nimmt im Einzugsgebiet der Oberen Donau große Anbauflächen ein.

Die verschiedenen für die Modellierung der Photosynthese und Transpiration bedeutsamen pflanzenphysiologischen Größen sind für jede Vegetationsklasse spezifisch parametrisiert. Grundlage für diese Parametrisierung in *Biological* sind Daten aus der Literatur (Yin & van Laar, 2005) sowie eigene Geländemessungen (Lenz, 2007).

Zur Validierung des Modells werden Messungen zum CO₂- und Wasseraustausch auf der Bestandesskala (Eddy-Kovarianz- und Bowen-Ratio-Verfahren) sowie summarische Biomassemessungen eingesetzt.

4. Darstellung der Ergebnisse

Um die hohe zeitliche Dynamik und die für jede Vegetationsklasse spezifische Steuerung der modellierten Flüsse zu illustrieren, werden exemplarisch die Tages- und Jahresgänge der CO₂-Aufnahme und der Transpiration für verschiedene Vegetationsklassen dargestellt. Die Abhängigkeit der CO₂-Aufnahme und der Transpiration von den meteorologischen Eingangsgrößen Globalstrahlung und Lufttemperatur wird in Abbildung 2.8.1.1 für eine Wiese, Winterweizen, Mais und Zuckerrüben gezeigt. Die Abbildung zeigt deutlich die unterschiedliche Reaktion verschiedener Vegetationsklassen auf die Umweltbedingungen. Für dieselben Vegetationsklassen zeigt Abbildung 2.8.1.2 den Jahresverlauf der CO₂-Aufnahme und Transpiration. Der Jahresgang der modellierten Flüsse wird dabei wesentlich von der unterschiedlichen phänologischen Entwicklung der Vegetationsklassen sowie deren Bewirtschaftung (Saat- und Erntetermin, Schnittzeitpunkte) gesteuert. Die in den Karten dargestellten Transpirationssummen ausgewählter agrarischer Vegetationsklassen für das hydrologische Jahr 1994/1995 spiegeln standörtliche Bedin-

gungen, Eigenschaften der verschiedenen Vegetationsklassen und Bewirtschaftungsunterschiede wider. Diese Modellergebnisse wurden mit einer subskaligen Landnutzungskarte errechnet, die mehrere Vegetationsklassen pro Proxel berücksichtigt. Durch diese subskalige Auflösung lassen sich Einflüsse kleinräumiger Heterogenität besser erfassen und genauere Aussagen über die Transpiration treffen.

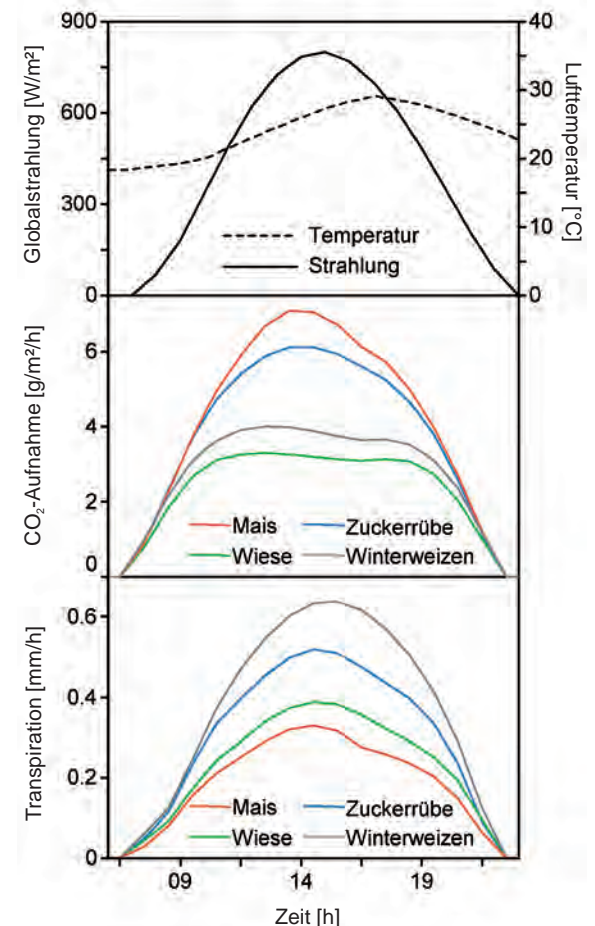


Abbildung 2.8.1.1: Beispiel für die Abhängigkeit des Tagesgangs der modellierten CO₂-Aufnahme und der Transpiration verschiedener Vegetationsklassen von Globalstrahlung und Lufttemperatur.

Geringe Transpirationssummen finden sich vor allem auf Karstböden im nordwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes, insbesondere bei Mais, Kartoffel und Zuckerrübe, sowie - aufgrund der geringeren Temperatur und der kürzeren Vegetationsperiode - bei den Grünländern im Alpenraum. Maximale Transpirationssummen werden bei intensiven landwirtschaftlichen Nutzungen erreicht. Aufgrund der langen Vegetationsperiode erreichen Wälder ebenfalls hohe Transpirationssummen (nicht als Karte dargestellt).

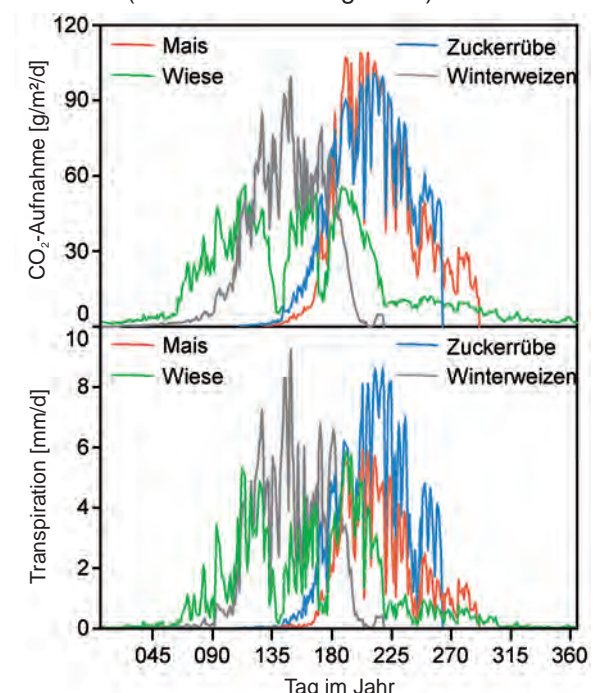


Abbildung 2.8.1.2: Beispiel für einen Jahresgang der modellierten CO₂-Aufnahme und der Transpiration verschiedener Vegetationsklassen.

Literatur

- Farquhar, G.D., von Caemmerer, S. & Berry, J.A. (1980): A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149, 78-90.
- Lenz, V.I.S. (2007): A process-based crop growth model for assessing Global Change effects on biomass production and water demand - A component of the integrative Global Change decision support system DANUBIA. PhD thesis, University of Cologne.
- Yin, X. & van Laar, H. (2005): *Crop Systems Dynamics. An ecophysiological simulation model for genotype-by-environment interactions*. Wageningen. Academic Publishers.