

Was ist sind Agrarökosysteme?

Ökosysteme stellen das Wirkungsgefüge von Organismen untereinander und mit ihrer unbelebten (abiotischen) Umwelt dar. Dazu gehören alle Komponenten und Wechselwirkungen von **Biotop** und **Biozönose**.

Agrarökosysteme sind Ökosysteme der Agrarlandschaft mit den bewirtschafteten Flächen und angrenzenden Lebensräumen. Agrarökosysteme sind durch die Bewirtschaftung des Menschen geprägt. Ohne diese, würden sie sich in andere Systeme umwandeln.

Habitate in der Agrarlandschaft mit der für Arten benötigten Ausstattung müssen ganzjährig zur Verfügung stehen. Bewirtschaftete Schläge sind für viele Arten nur Teil ihres Habitats. Sie benötigen störungsfreie Randgebiete ohne mechanische oder chemische Belastungen.

Abiotische Faktoren: Strahlung, Temperatur, Feuchte, Niederschlag, Wind, alle chemischen Bestandteile in Atmosphäre und Boden (CO₂, Luftschadstoffe, Stickstoff, Mineralstoffe etc.), alle Einwirkungen der unbelebten Umwelt

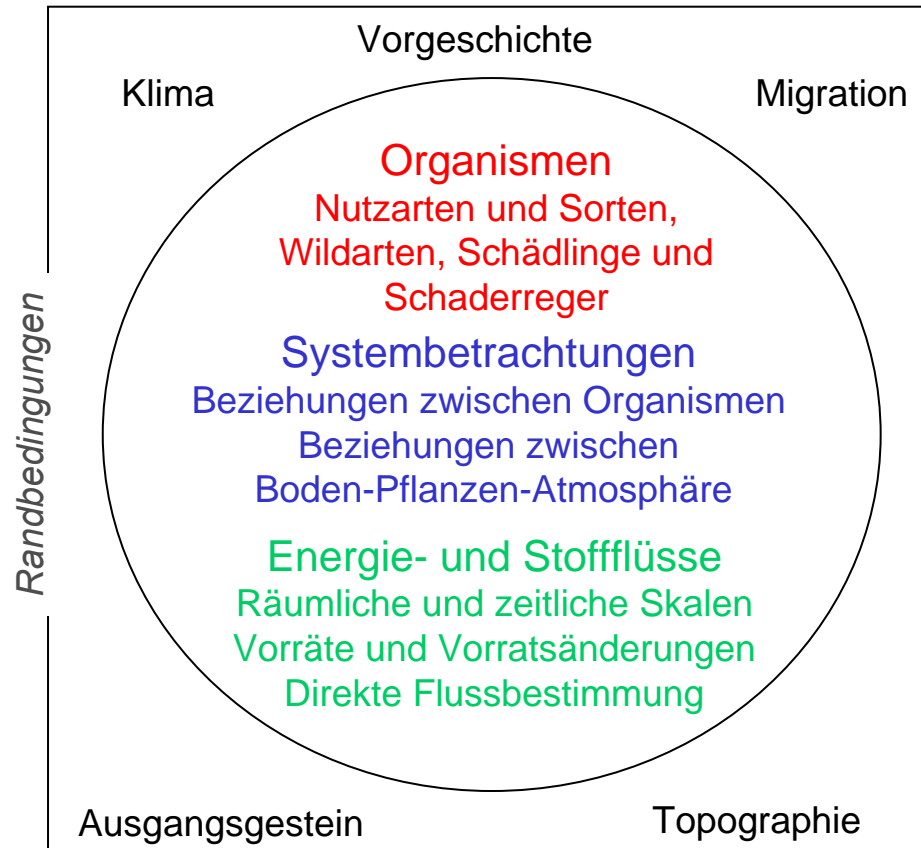
Biotische Faktoren: Alle lebenden Organismen und ihre Wechselbeziehungen untereinander wie Glieder der Nahrungskette, Bestäubung, Samenverbreitung, Fortpflanzung, Symbiose, Konkurrenz-Beziehungen, Wirt-Schmarotzer-Beziehungen, Krankheitsüberträger, funktionelle Gruppen der Mikroorganismen (z.B. Stickstofffixierer, Humusbildner) etc.

Warum ist Wissen über die Funktion von Agrarökosystemen wichtig?

Der Klimawandel verändert **Randbedingungen von Ökosystemen**, die bisher über längere Zeiträume hinweg als unverändert galten. Dies betrifft das physikalische Klima, die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, Bodentemperaturen und auch biotische Faktoren, wie Artenspektrum einschließlich Krankheitsüberträger und Schädlinge.

Dadurch werden **Grundfunktionen von Ökosystemen** wie Energie- und Stoffflüsse, Produktion, Nahrungskette und Vitalität von Organismen beeinflusst. Wenn sich Grundfunktionen ändern, ist auch Wissen über Grundfunktionen gefragt, um Sachverhalte besser einschätzen zu können.

Die Klimawirkungen führen zu Reaktionen und Zuständen von Ökosystemen, die über das bisherige Erfahrungswissen hinausgehen und nur zum Teil ausreichend beurteilt werden können. Dies betrifft zum Beispiel den direkten und indirekten CO₂-Düngereffekt auf Photosynthese, Wasserhaushalt, Produktion und Produktqualität. Weiter kann eine zunehmende Erwärmung tieferer Bodenschichten zu erhöhter Mobilisierung und Stoffverlusten führen.



Einige Stichworte zu den Prozessen

Sortenvielfalt
Ausbreitung invasiver Arten
Phytopathologische Situation
Gegenseitiger Nutzen und Konkurrenz

Wechselwirkungen,
Rückkopplungen,
Belastbarkeit und Tragfähigkeit

Produktion und Wachstum,
Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis,
Stoffbilanzen,
Bodenatmung, Humusbildung

Dauerkulturen: Gehölze, Grasland/Grünland

Aus ökologischen Gesichtspunkten sind Dauerkulturen den saisonalen Kulturen vorzuziehen. Sie können ganzjährig produzieren sobald die Witterung es erlaubt und speichern mehr Kohlenstoff. Die beständige Bodendeckung schützt den Boden gegen Erosion und fördert die Humusbildung. Das Bodenleben und die oberirdische Lebensgemeinschaft, zu denen viele Nützlinge gehören, sind weniger Störungen ausgesetzt.

Saisonale/einjährige Kulturen: Ackerfurchtfolgen

Saisonale Kulturen weisen aufgrund von Brachezeiten eine geringere Anzahl an produktiven Tagen auf. Sie sind meist Monokulturen mit hoher Bewirtschaftungsintensität, die Begleitarten weniger Lebensraum bieten (z.B. Insekten) oder deren Produktion durch Begleitarten beeinträchtigt wird (Unkräuter). Das plötzliche, vollständige Abernten stellt für die Arten im Lebensraum eine starke Störung dar.

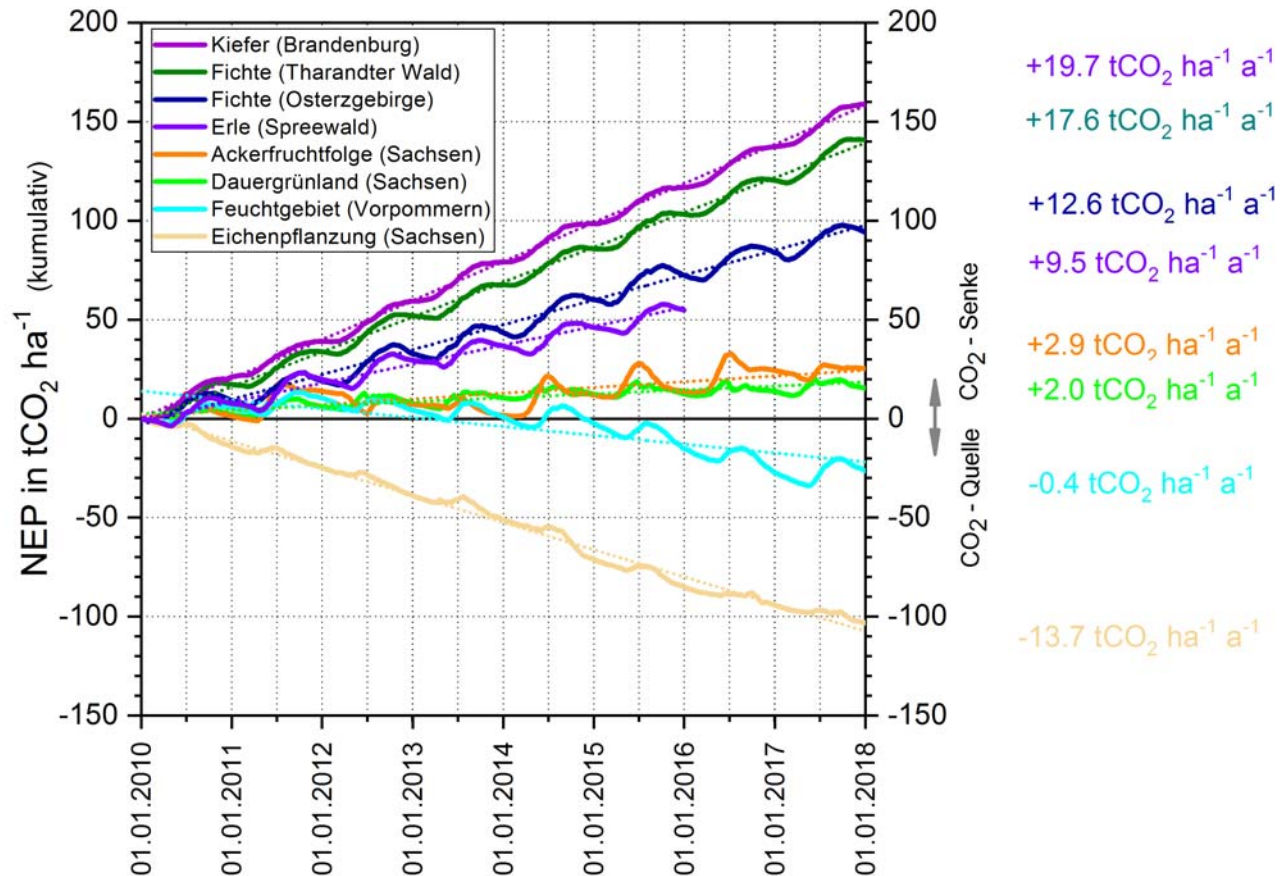
Aus **landwirtschaftlicher Sicht** sind beide Kulturtypen sinnvoll. Eine Verschiebung von Dauerkulturen zu saisonalen Kulturen reduziert jedoch die ökologische Qualität der Agrarlandschaft.

Reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaat schonen das Bodenleben. Noch besser wäre es, Getreide als mehrjährige oder Dauerkultur nutzen zu können. Damit befasst sich das Land Institute in Kansas, USA (<https://landinstitute.org/>). Vielversprechend ist bereits Kernza® Intermediate Wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*), auch wenn der Ertrag (noch) nicht mit einjährigem Weizen vergleichbar ist. Die Forschung und Züchtung dazu ist im Vergleich zum herkömmlichen Getreide ja auch noch sehr jung. Die ökologischen Vorteile liegen auf der Hand. Das besser ausgebildete, tiefe Wurzelsystem und die dauerhafte Mykorrhizierung fördern Wasser- und Nährstoffaufnahme. **Mehrjährige Getreidearten würden eine sehr gute Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel darstellen.**

Wurzelsystem eines einjährigen (links) und mehrjährigen Getreides (rechts);
Quelle: Land Institute



Vergleich der Netto-CO₂-Aufnahme von Wald, Dauergrünland und einer Ackerfruchtfolge



Quelle: Köstner & Grünwald 2019

Flüsse sind in der Ökosystemforschung Energie- und Stoffströme zwischen Kompartimenten des Ökosystems und zwischen Kompartimenten und Umwelt. Sie werden direkt als Strömung bestimmt (z.B. Gas- und Wasserflüsse) oder indirekt als zeitliche Änderung von Speichern (z.B. Stickstoffgehalt im Boden zu verschiedenen Zeitpunkten, die Änderung des N-Gehaltes ist ein Fluss in diesem Zeitraum).

Vertikale Flüsse

In der Ökosystemforschung versteht man unter vertikalen Flüssen den Stoffaustausch zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre. Die Flüsse sind Energie- (Strahlung, Wärme) und Stoffströme (z.B. Wasser, CO₂, N-Verbindungen etc.).

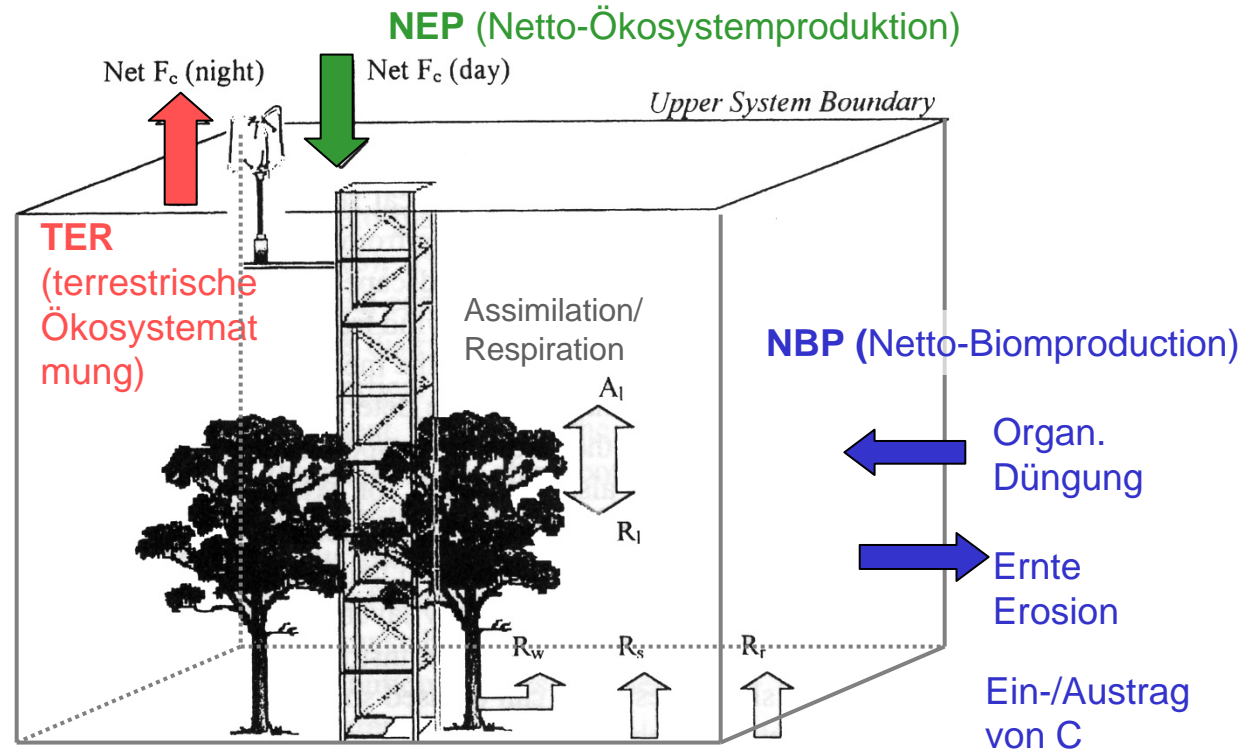
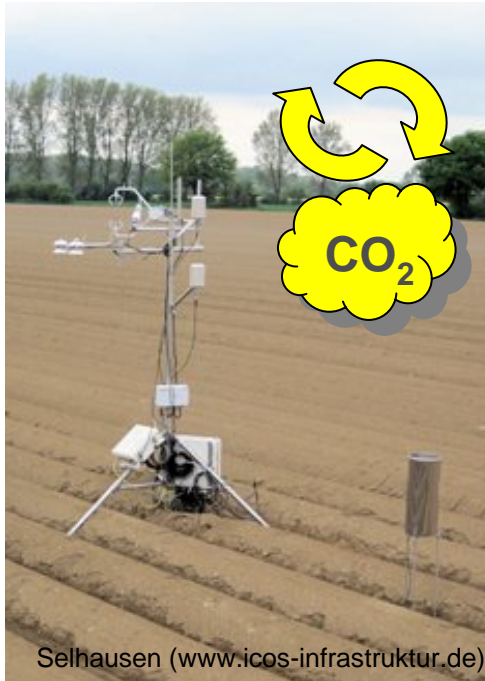
Flüsse auf Ökosystemebene können entweder von Messungen an Kompartimenten (Boden, Pflanzen) hochgerechnet oder direkt bestimmt werden. Eine direkte Flussbestimmung auf Ökosystemebene erlaubt der **Eddy-Kovarianz-Technik**, eine Methode der Mikrometeorologie.

Horizontale Flüsse

In der Ökosystemforschung versteht man unter horizontalen Flüssen den Stoffaustausch zwischen benachbarten Systemen (z.B. zwischen Grasland und Gewässer oder zwei Einzugsgebieten).

Bei Agrarökosystemen schließt das auch die Zufuhr oder Abfuhr von Stoffen durch die Bewirtschaftung ein. Dazu gehört zum Beispiel das Einbringen von organischem oder mineralischem Dünger, das Einbringen von Saatgut und die Ernteentnahme.

Turbulenter Transport



$$\text{NEP} = \text{GPP} - \text{TER}$$

$$\text{NBP} = \text{NEP} \pm \text{Ein-/Austrag von C}$$

Teilflüsse:

Photosynthese (Blatt/Spross)
Pflanzenatmung (Blatt/Spross)
Pflanzenatmung (Wurzel)
Mikrobielle Atmung

GPP (Bruttoprimärproduktion)

} Boden-
atmung

} **TER (terrestrische Ökosystematmung)**



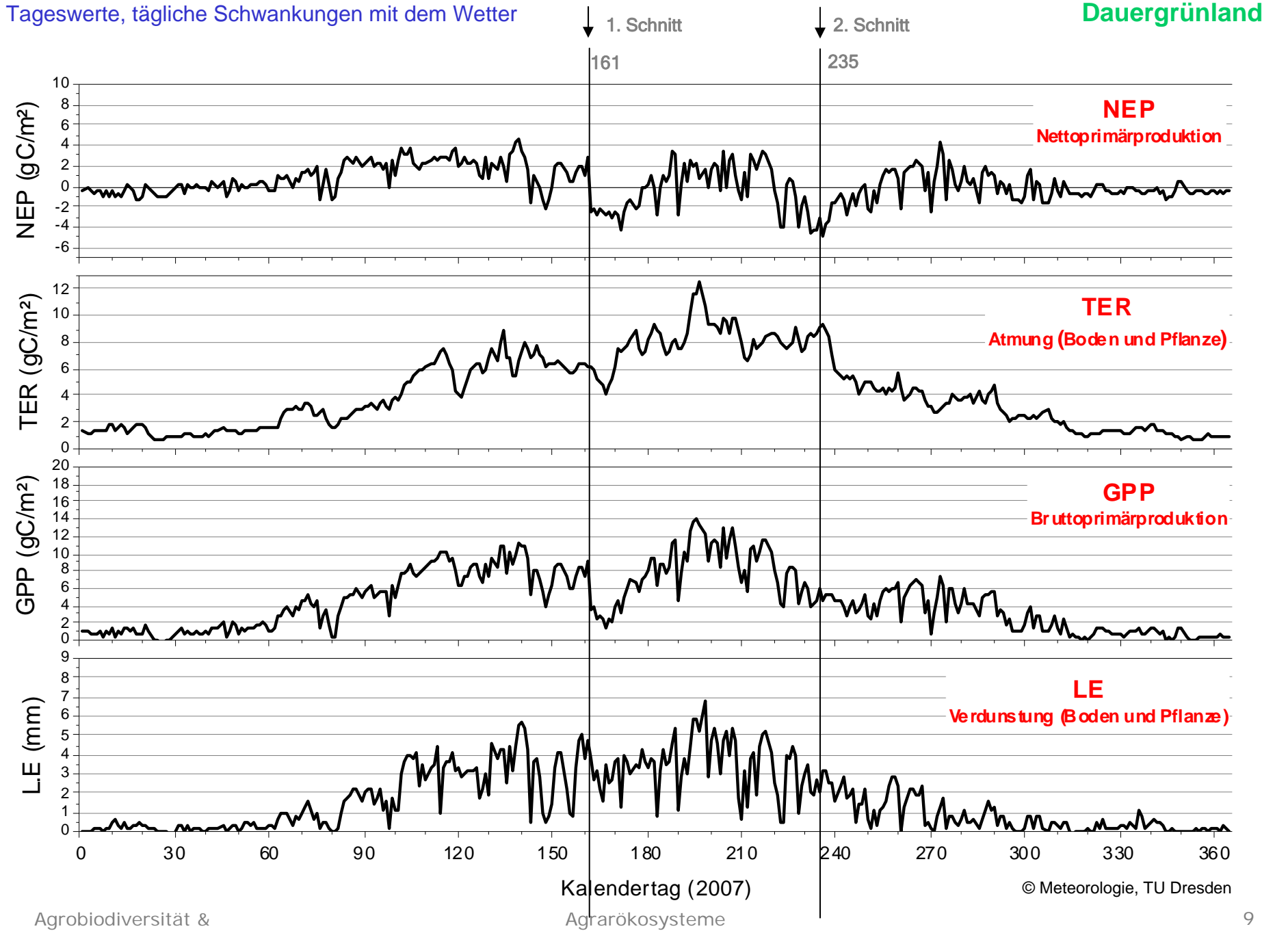
Ackerfruchtfolge bei Klingenberg

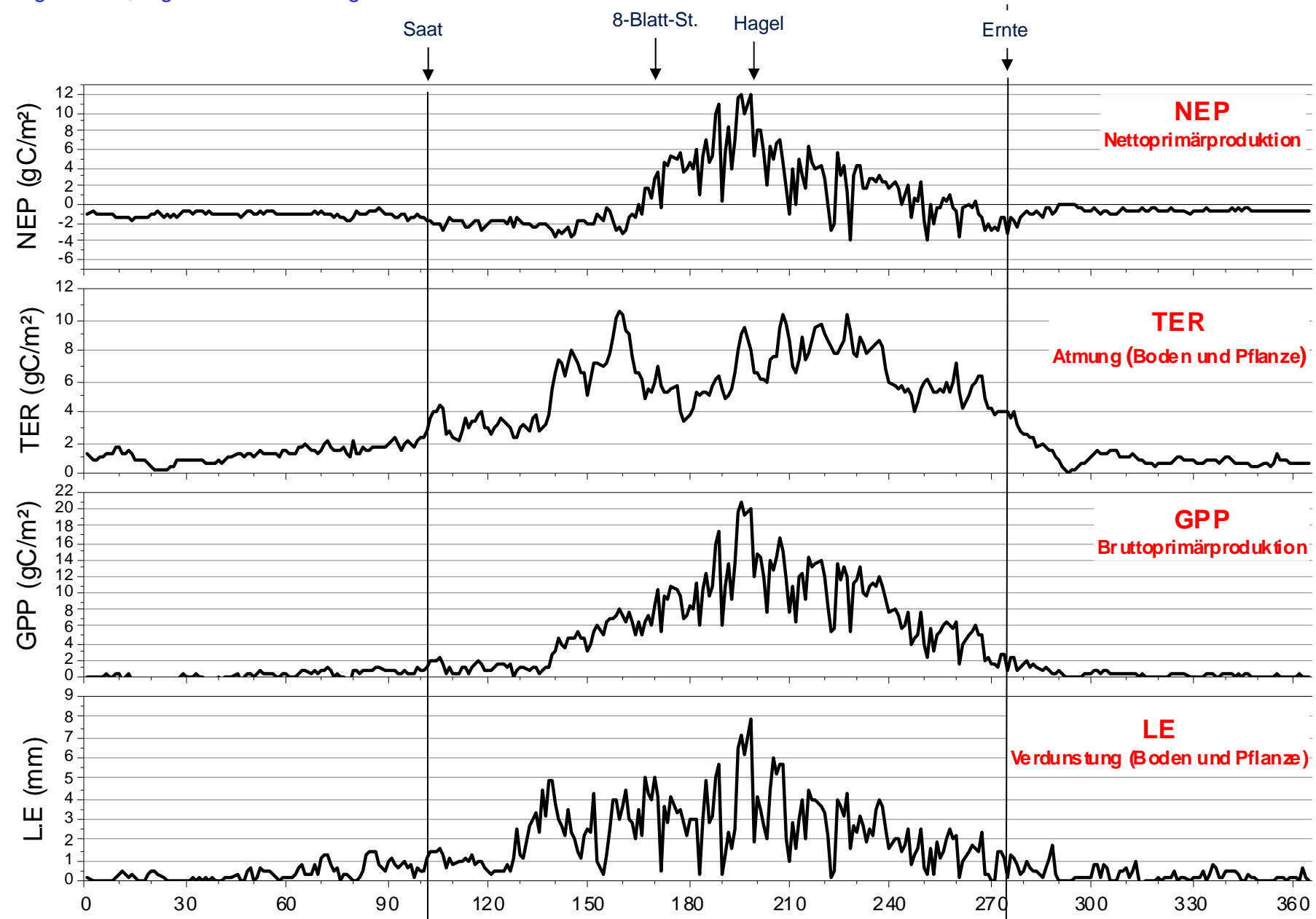


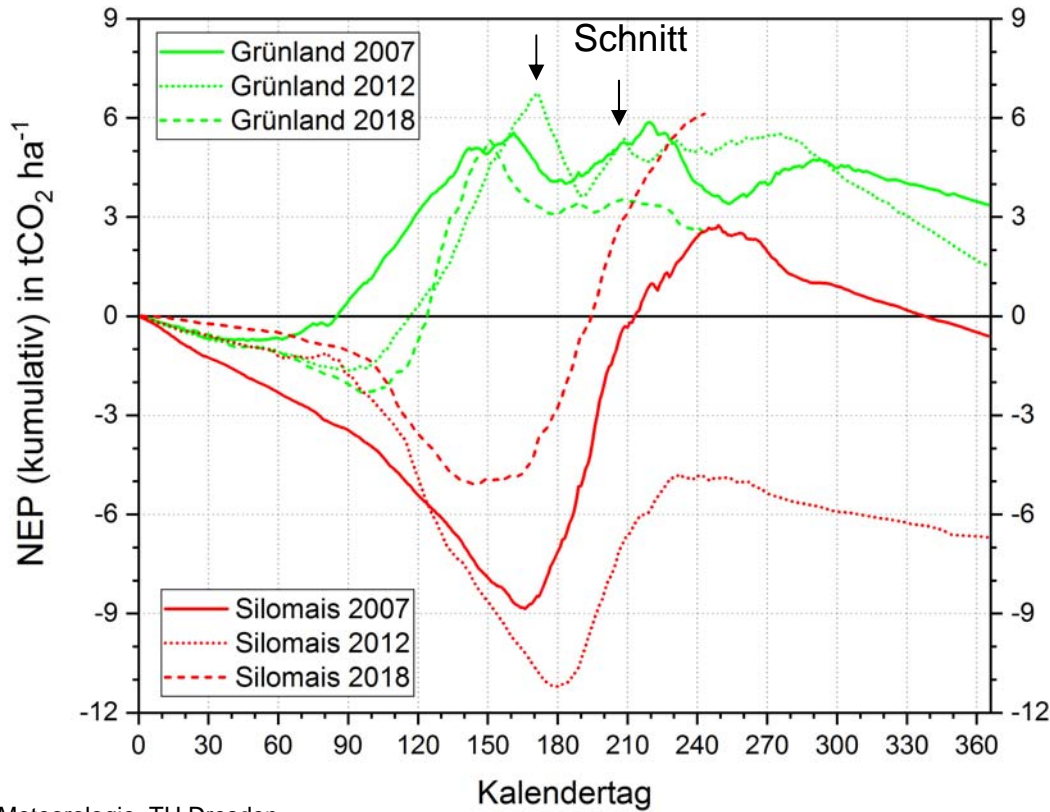
Dauergrünland bei Grillenburg, Erzgebirgsvorland

Die Messstandorte mit Eddy-Kovarianz-Technik der Professur für Meteorologie an der TU Dresden gehören zum europäischen Netzwerk **ICOS (Integrated Carbon Observation System)**

www.icos-infrastruktur.de

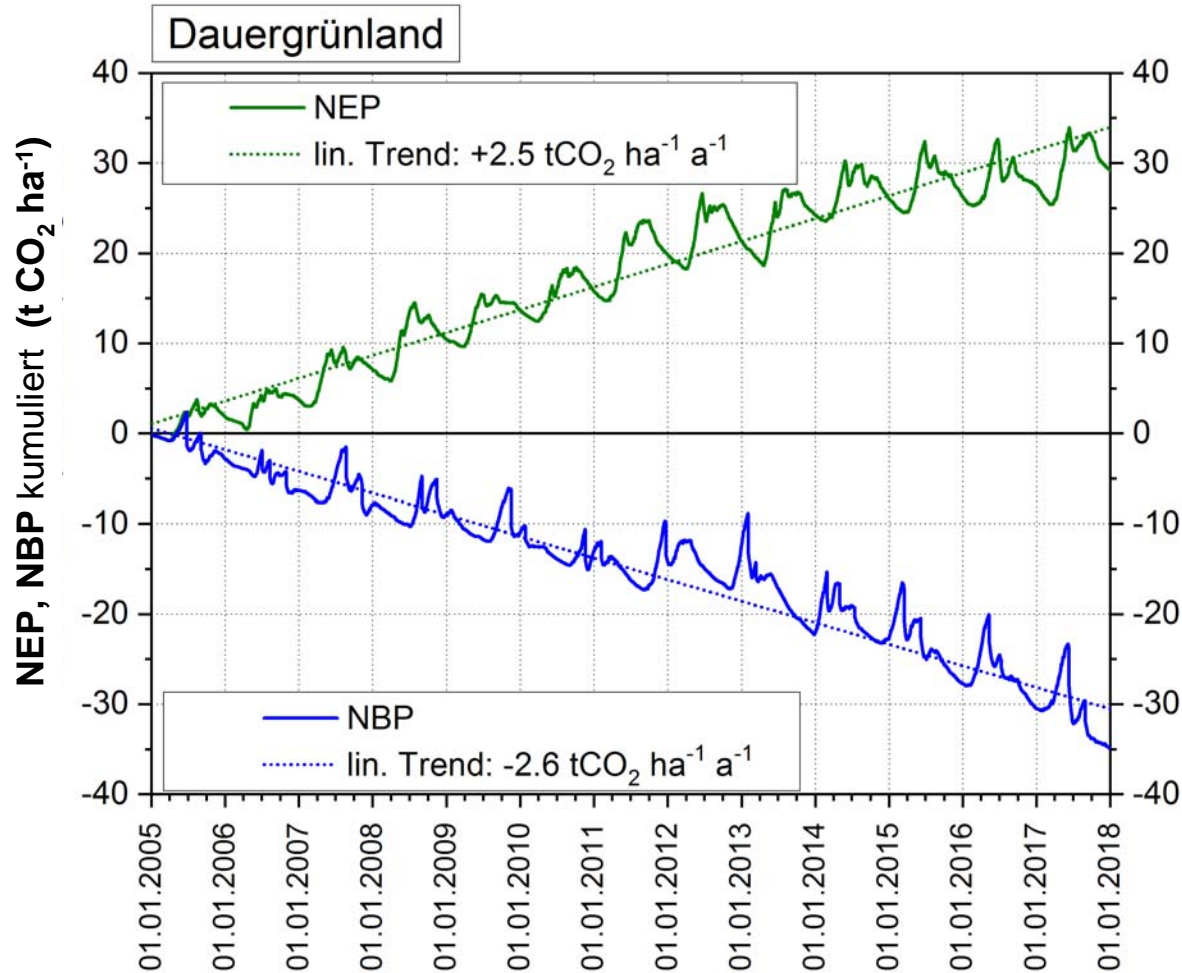






© Meteorologie, TU Dresden





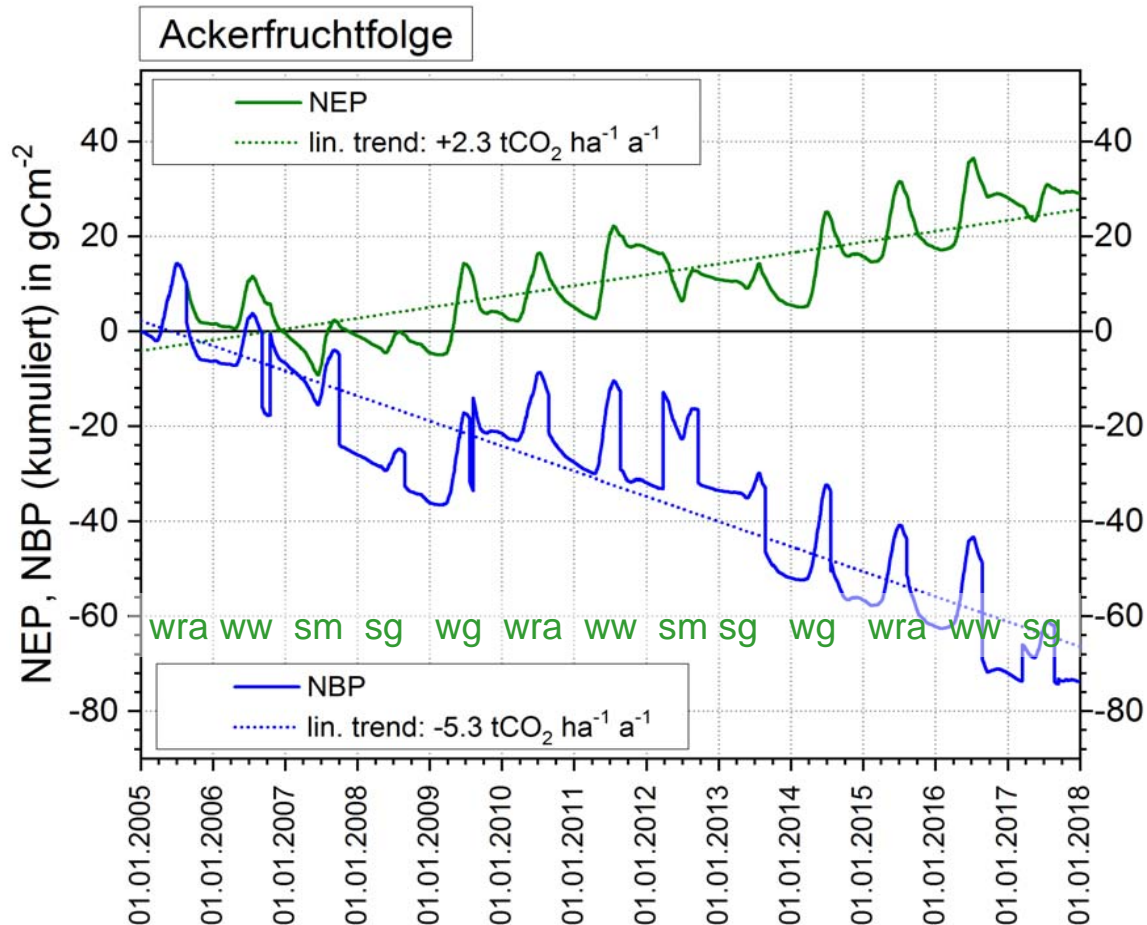
CO₂ Senke
↑
↓
CO₂ Quelle

Vertikaler Fluss:
Trend NEP
+ 0,68 t C /ha/Jahr

Vertikaler + horizontaler Fluss:
Trend NBP
- 0,71 t C /ha/Jahr

Th. Grünwald
Meteorologie, TU Dresden

Winterraps – Winterweizen – Silomais – Sommergerste – Wintergerste



CO₂-Senke
↕
CO₂-Quelle

Vertikaler Fluss:
Trend NEP
+ 0,63 t C /ha/Jahr

Vertikaler + horizontaler Fluss:
Trend NBP
- 1,45 t C /ha/Jahr

Th. Grünwald
Meteorologie, TU Dresden

- Mit der Eddy-Kovarianz-Technik ist es möglich, Stoffflüsse zwischen Bestand und Atmosphäre kontinuierlich zu verfolgen.
- Es wird hierbei immer die Gesamtreaktion von Boden und Pflanzen erfasst. Unter Brache-Bedingungen erfasst man nur den Boden.
- Die Messungen zeigen (1.) Reaktionen auf Wetterschwankungen, Bodentrockenheit, Unwetter, Schneebedeckungen usf., (2.) Änderungen durch die Pflanzenentwicklung (Keimung, zunehmende Blattentwicklung, Gelbreife, ... und (3.) unmittelbare Reaktionen auf die Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Mahd, Ernte, ...
- Die Beobachtungen ermöglichen neben den herkömmlichen Beurteilungen bei der Bestandesführung eine ergänzende Sichtweise auf das Gesamtsystem Boden-Pflanze in Wechselwirkung mit der Atmosphäre.
- Standorte mit Eddy-Kovarianz-Messungen haben Modellcharakter. Es lässt sich daraus auch Prinzipielles für andere Bestände lernen.
- Die Messungen des Grünlandstandortes und der Ackerfruchtfolge zeigen, dass beide trotz der unterschiedlichen Arten und Struktur eine ähnliche jährliche Netto-Ökosystemproduktion (NEP, Primärproduktion minus Atmung von Pflanzen und Boden) aufweisen.
- Berücksichtigt man jedoch auch die horizontalen Flüsse (Ernte, organ. Düngung) als Nettobiomproduktion (NBP), ist der Kohlenstoffentzug aus der Ackerfruchtfolge deutlich höher. Daraus ist zu folgern, dass sich dies stärker negativ auf die Humusbilanz auswirkt, wenn nicht ausreichend organisches Material rückgeführt wird.

Wie sich der Klimawandel auf Agrarökosysteme auswirkt, können wir anhand von bereits heute eintretenden Extremereignissen lernen, auch wenn sie nur einen Anfang von Klimaänderungen darstellen und wir nicht alle zukünftigen und langfristigen Klimawirkungen kennen. Bereits heute erleben wir die Wirkungen von milden Wintern,zeitigem Frühjahr, häufigeren Starkregen und Unwetter im Sommer oder von anhaltender Trockenheit und Hitze.

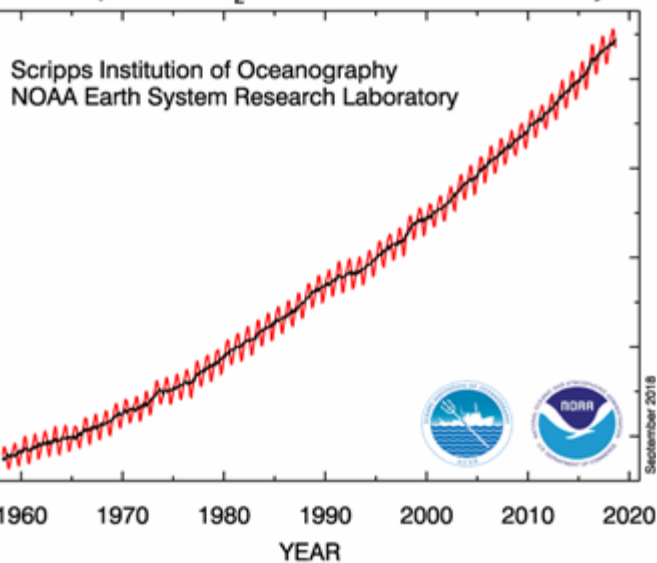
Was wir nicht direkt erleben können, ist die Wirkung der ansteigenden CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Dies ist ein schleichender Prozess wie der Anstieg der mittleren Temperatur. Der Anstieg der mittleren CO₂-Konzentration geschieht einschließlich jahreszeitlicher Schwankungen beständig seit dem 20. Jahrhundert. Entsprechend sind auch die Wirkungen auf die primären Prozesse der Photosynthese beständig.

Das besondere am Kohlendioxid (CO₂)

- Die mittleren CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre nehmen derzeit beständig zu.
- CO₂ ist zugleich Pflanzennährstoff und Treibhausgas.
- Die Photosynthese der Pflanzen ist der einzige global wirkende Prozess der Landoberfläche, der der Atmosphäre wieder CO₂ entziehen kann.
- Zusammenhänge zwischen gesteigerter Photosyntheserate und Konsequenzen für das Pflanzenwachstum müssen teils noch besser verstanden werden.
- Die steigenden CO₂-Konzentrationen beeinflussen den gesamten C-Kreislauf und die C-Speicherung in Biomasse und Humus.

Beständige Messung am Observatorium auf Hawaii

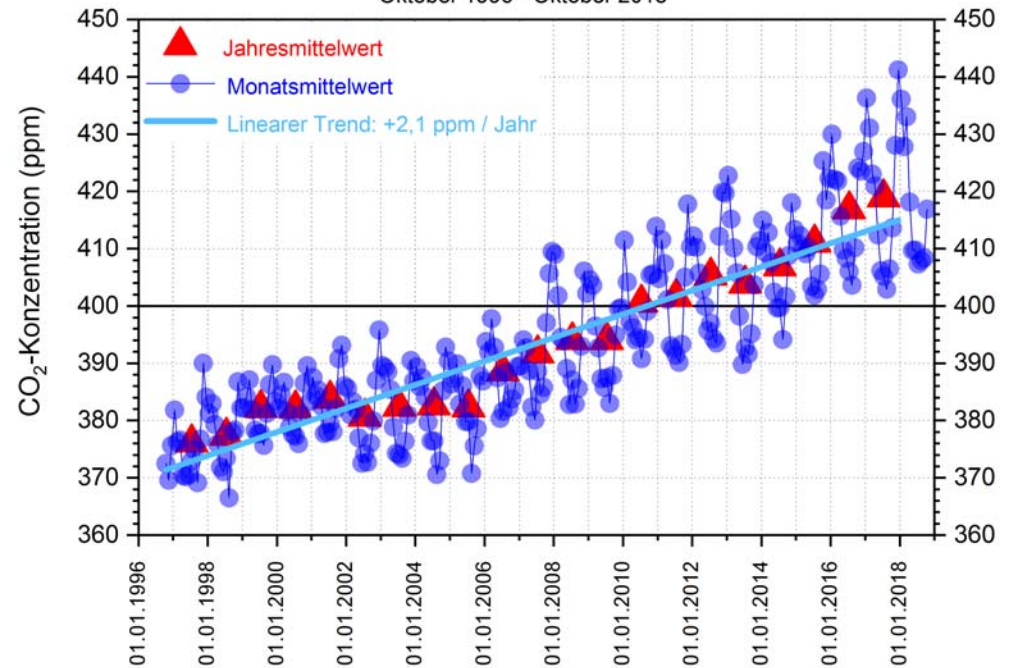
Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory



<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>

CO₂-Konzentration an der Ankerstation Tharandter Wald

(50.962570°N, 13.565294°E, 425 m a.s.l., 42 m ü.G.)
Oktober 1996 - Oktober 2018



© Meteorologie, TU Dresden

Für Pflanzen als autotrophe Organismen ist CO₂ ein Nährstoff. CO₂ in der Atmosphäre stellt einen limitierenden Faktor dar. Der Anstieg der CO₂-Konzentration bewirkt folglich einen Düngeeffekt. Dieser wird wirtschaftlich seit langem durch die CO₂-Anreicherung in Gewächshäusern genutzt.

Der direkte CO₂-Düngeeffekt auf die Photosynthese macht sich nur bei sog. C₃-Pflanzen bemerkbar, da bei ihnen der Photosynthesapparat von der CO₂-Konzentration der Außenluft abhängig ist. Sie nutzen ein Enzym, das CO₂ und O₂ binden kann, für CO₂ allein ist es folglich nicht so effektiv. Bei C₃-Pflanzen entsteht als primäres Photosyntheseprodukt eine Kohlenstoffverbindung mit 3 C-Atomen, also eine C₃-Verbindung. Zu den C₃ Pflanzen gehören die meisten einheimischen Wildgräser und Kräuter, Getreidearten und Bäume.

Die C₄-Pflanzen nutzen einen anderen Photosynthesemechanismus, bei dem zunächst in der Pflanzenzelle CO₂ hoch konzentriert wird. Die internen CO₂-Konzentrationen können 1000 ppm erreichen. Die Photosynthese von C₄-Pflanzen ist folglich nicht von der CO₂-Außenkonzentration der Luft abhängig. Entsprechend hat der Anstieg des CO₂ in der Atmosphäre keinen direkten Effekt bei diesem Pflanzentyp. Außerdem nutzen C₄-Pflanzen ein Enzym, das nur CO₂ bindet und daher effektiver ist als das von C₃-Pflanzen. Bei C₄-Pflanzen entsteht als primäres Photosyntheseprodukt eine Kohlenstoffverbindung mit 4 C-Atomen, also eine C₄-Verbindung. Zu den C₄-Pflanzen gehören viele tropische Gräser und Kräuter darunter auch Mais, Hirse, Sorghum, Zuckerrohr und Amaranth-Gewächse.

Ein Versuch am Thuenen-Institut in Braunschweig an über 300 Genotypen von Gerste (C₃-Typ) hat gezeigt, dass die Höhe des CO₂-Düngeeffektes von der genetischen Varietät abhängt. Es ist daher wichtig, dass die Züchtungsforschung zukünftig Sorten bereitstellt, die den CO₂-Düngeeffekt gut nutzen können.

Der **indirekte CO₂-Düngeeffekt** wirkt bei **C₃- und C₄-Pflanzen**. Er hängt damit zusammen, dass unter hoher CO₂-Konzentration pro gebundenem CO₂-Molekül weniger Wasser gebraucht wird. Diese **erhöhte Wassernutzungseffizienz** wirkt sich *unter Trockenheit* bei C₃- und C₄-Pflanzen positiv auf Photosynthese und Produktion aus. Der Effekt beruht folglich nicht auf der direkt gesteigerten Photosyntheserate, sondern indirekt über die bessere Wasserversorgung und dadurch geringeren Produktionseinbußen unter Trockenheit.

Bei einem Versuch in Braunschweig konnte dies weltweit erstmals an Mais gezeigt werden. Bei ausreichender Wasserversorgung spielt die erhöhte Wassernutzungseffizienz keine Rolle. Unter Trockenheit kann zwar die Produktion nicht gesteigert werden, aber die Ertragsseinbußen waren unter hohem CO₂ (550 ppm) deutlich niedriger (10% Ertragsreduktion) als bei Mais, der unter normaler CO₂-Konzentration (380 ppm) bei Trockenheit gewachsen ist (40% Reduktion).

Die ältere Forschung zum CO₂-Düngeeffekt ging davon aus, dass der Effekt nur wirken kann, wenn andere Faktoren nicht limitierend sind. Dies lässt sich teils nicht aufrechterhalten.

Der CO₂-Düngeeffekt **kann Stresswirkungen** durch andere Faktoren (Hitze, Ozon, Wasserdefizit, N-Defizit) **mindern**. Das Wiederergrünen von Regionen in Trockengebieten wird teils auf den indirekten CO₂-Düngeeffekt zurückgeführt. Er führt nicht zu üppigem Wachstum, aber fördert Wachstum, wo die Wasserverfügbarkeit begrenzend ist.

Untersuchung des CO₂-Düngeeffektes an Wintergerste, Zuckerrübe und Winterweizen:
Kohlendioxid (CO₂) ist ein Pflanzennährstoff. Der CO₂-Düngeeffekt bewirkt, dass Pflanzen ertragreicher sind und pro gebundenem CO₂ weniger Wasser verbrauchen.

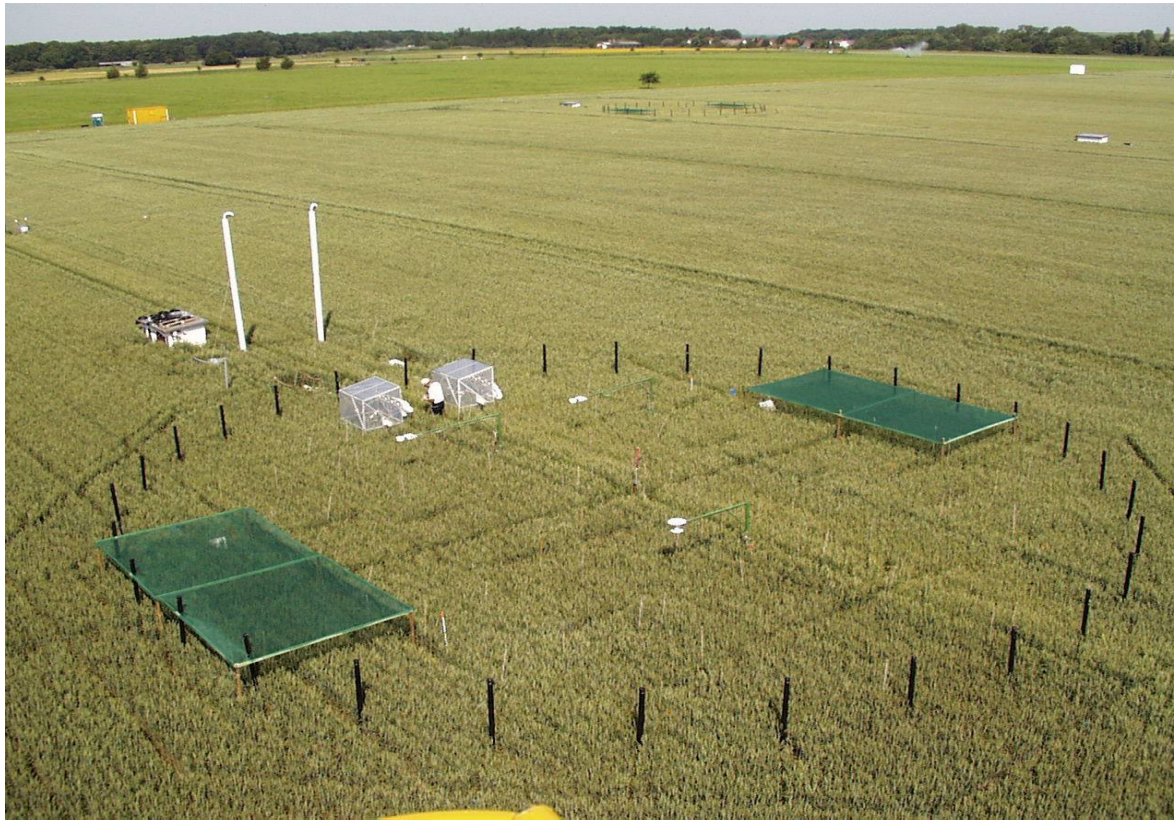
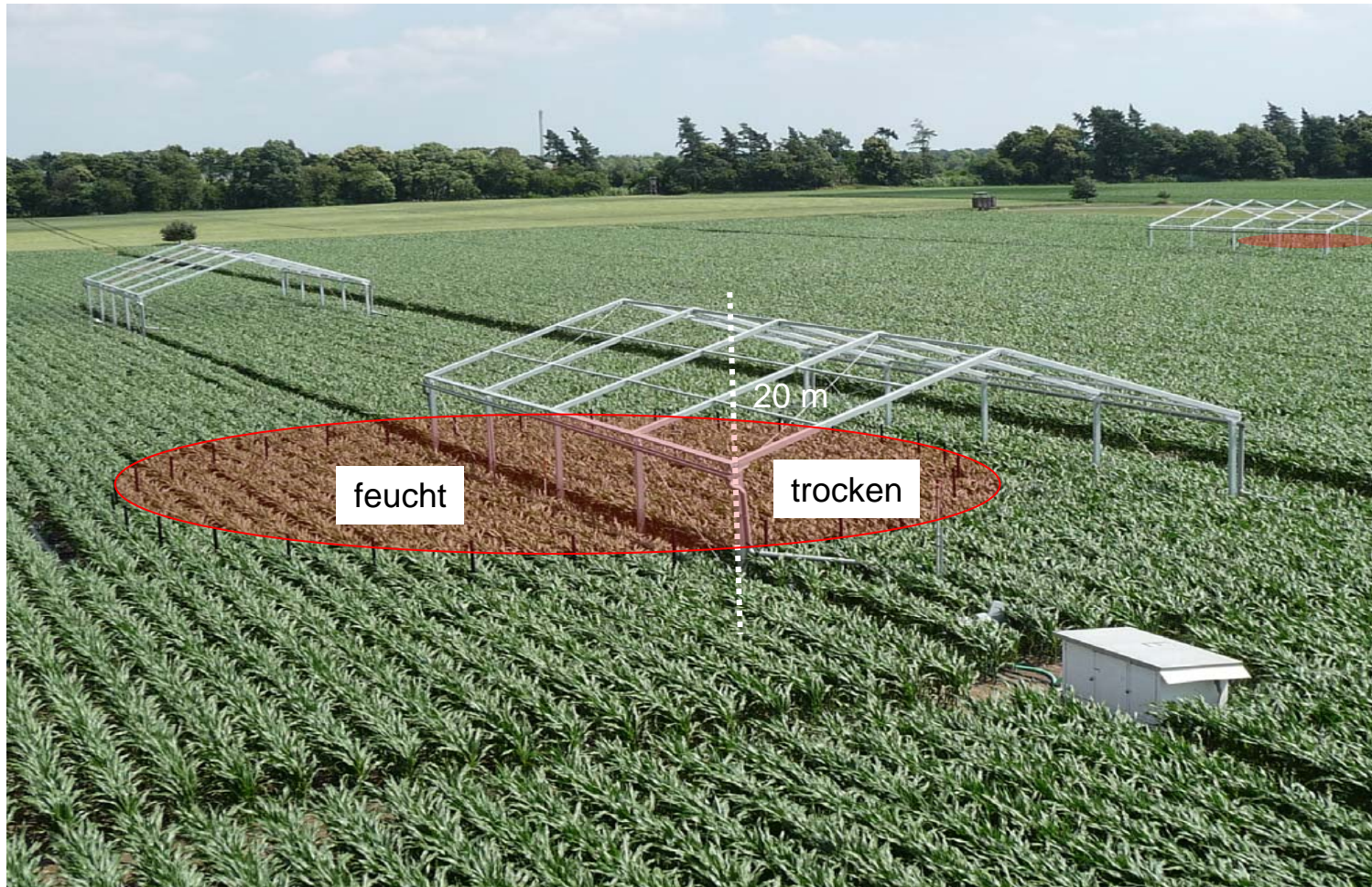


Foto: ©Weigel, Institut für Biodiversität, Thuenen-Institut, Braunschweig

Ertragssteigerungen
durch CO₂-Düngeeffekt
um 5-15% bei 550 ppm
CO₂-Konzentration

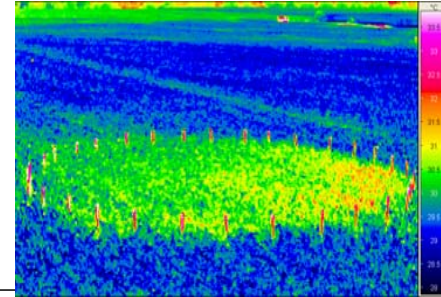
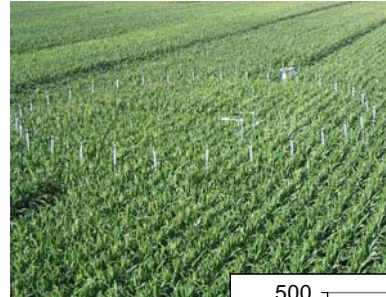
Reduktion des Wasser-
verbrauchs bzw.
geringere Absenkung der
Feldkapazität im Boden
um 10-20 %.

Weigel & Manderscheid 2012



©Weigel & Manderscheid, Institut für Biodiversität, Thuenen-Institut, Braunschweig

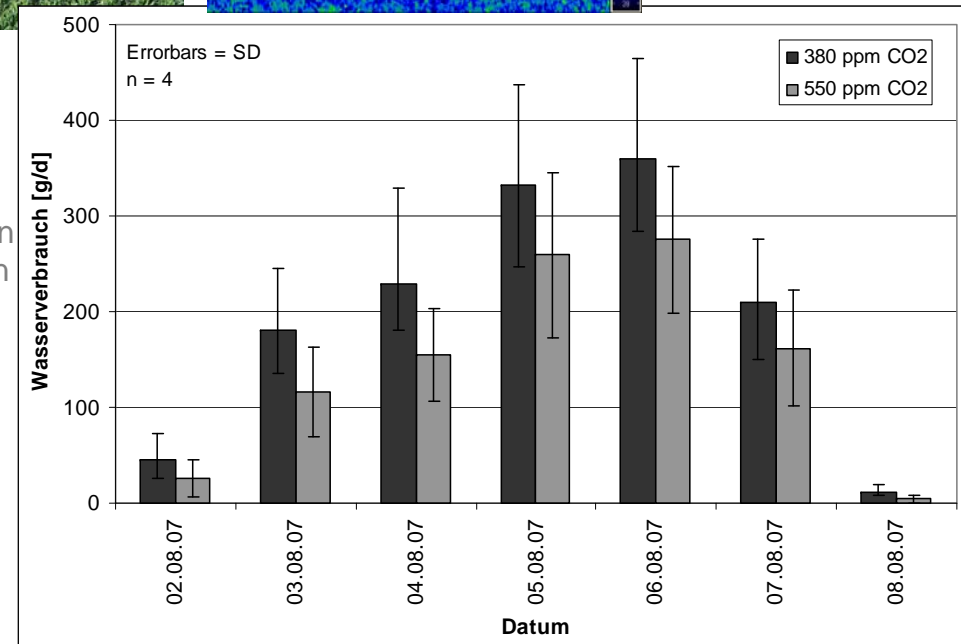
550 ppm CO₂



CO₂-Einfluss auf den
Wasserverbrauch von
Mais (Reduktion der
Transpiration)

Saftflussmessung
an Mais

E. Nozinski, R. Manderscheid, TI, Braunschweig



→ Mais zeigt keinen direkten CO₂-Düngeeffekt, aber unter Trockenheit durch bessere Wasserausnutzung geringere Ertragseinbußen (indirekter CO₂-Düngeeffekt)

Manderscheid et al. 2014