

Simulation von Grasland unter Beweidung und Mahd mit LPJmL

Susanne Rolinski¹, Stephen Wirth¹, Marie Brunel¹, Christoph Müller¹ und Jürgen Pickert²

¹Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Telegrafenberg A31, 14473 Potsdam,
rolinski@pik-potsdam.de

²Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. Eberswalder Strasse 84, 15374
Müncheberg

Einleitung und Problemstellung

Die Bedeutung von Grasland für die globalen Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe resultiert zum einen durch seine große Ausdehnung mit ca. 23% der terrestrischen Landfläche und zum anderen durch die hohe Primärproduktivität und hohe Bodenkohlenstoffgehalte. Dabei modifiziert die lokale Bewirtschaftungsform sowohl die Produktivität als auch das Ertragspotential so erheblich, dass die Einbeziehung von Managementmaßnahmen auch in globale Vegetationsmodelle erforderlich scheint. Mit der Implementation von verschiedenen Ernteoptionen in das dynamische globale Vegetationsmodell (DGVM) LPJmL (Schaphoff *et al.*, 2018, Rolinski *et al.*, 2018) ergibt sich die Möglichkeit, deren Bedeutung auf der globalen Skala abzuschätzen, aber auch lokale Experimentalstandorte nachzubilden und somit die Validität der Modellergebnisse zu überprüfen. Hierzu werden in diesem Artikel sowohl Ergebnisse globaler Simulationen als auch verschiedener Mahd-szenarien am Standort Paulinenaue (Rogasik und Schroetter, 1999) dargestellt. Des Weiteren stellen wir zwei Beispiele der aktuellen Entwicklungen vor.

Material und Methoden

Wir gehen sowohl auf das verwendete Modell als auch auf die Erhebungen des Stickstoffdüngungsversuchs in Paulinenaue ein.

LPJmL ist ein DGVM, welches neben der natürlichen Vegetation auch landwirtschaftlich genutzte Pflanzen und bewirtschaftetes Grasland innerhalb eines konsistenten Rahmens simuliert (Bondeau *et al.*, 2007). Es enthält ein bodenhydrologisches Modell, welches auch Einfrieren und Abtauen des Bodens, u.a. in Permafrostregionen, abbildet (Schaphoff *et al.*, 2013). Der Effekt der Bewässerung kann sowohl mit einer unbegrenzten Versorgung als auch unter Berücksichtigung der Limitierung durch die zur Bewässerung verfügbaren Wassermengen simuliert werden. Dabei ist eine getrennte Analyse der Wassermengen aus dem Niederschlag (grünes Wasser) und die des Bewässerungswassers (blaues Wasser) möglich (Rost *et al.*, 2008). Obwohl die Intention zur Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Produktion nicht die Nachbildung einzelner Ernteereignisse war, hat sich dieser Teil des Modells in einer Form weiterentwickelt, die z.B. eine intensive Beteiligung an Modellvergleichsinitiativen ermöglicht, z.B. beim ‚Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project‘ (AgMIP) und FPI FACCE Knowledge Hub ‚Modelling European Agriculture with Climate Change for Food Security‘ (MACSUR).

Am Niedermoorstandort Paulinenaue, wird seit 1961 ein Stickstoffdüngungsversuch mit 5 Varianten, Mahdsystem, Erfassung der geernteten Biomasse in dt Trockenmasse (TM) ha⁻¹ yr⁻¹ für 3 Aufwüchse pro Jahr durchgeführt. Düngung führt zur Erhöhung der Erträge von 78.1 dt TM ha⁻¹ yr⁻¹ (bei 0 kg N ha⁻¹ yr⁻¹) auf 88.7 (60), 98.6 (120) und 108.7 (240), wobei die letzte Düngungsstufe von 480 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ einen mittleren Ertrag von 111.3 dt TM ha⁻¹ yr⁻¹ erbringt (Abb. 1).

Für die Simulation der Graserträge wurden tägliche Zeitreihen der gemessenen Temperatur und des Niederschlags von 1978 bis 2016 genutzt. Alle weiteren Antriebe (Strahlung und Bodeneigenschaften) stimmen mit den Standardwerten der globalen Simulationen überein, wie sie in Schaphoff *et al.* (2018) beschrieben sind.

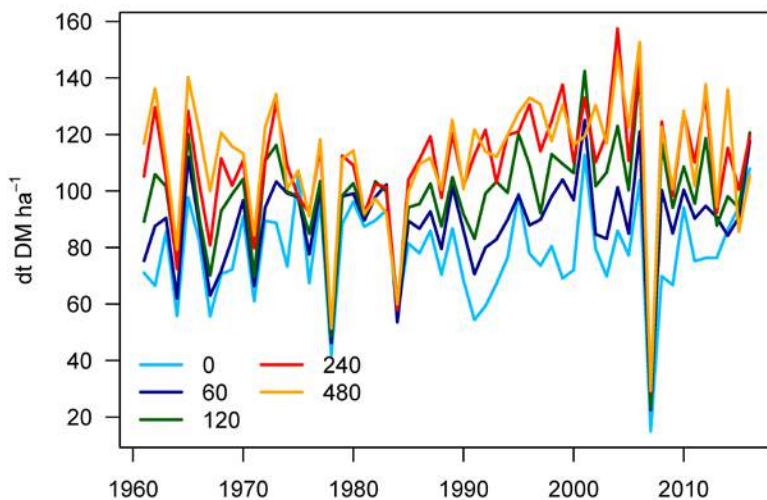


Abb. 1: Zeitreihen der Gesamtbiosmassen, die je Düngungsstufe (in kg N ha⁻¹ yr⁻¹) am Standort Paulinenaue geerntet wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse globaler Simulationen mit LPJmL

Für die Simulation der globalen Kohlenstoffkreisläufe wurde die Auswirkung verschiedener Ernteeoptionen untersucht (Rolinski *et al.*, 2018). Für eine produktivitätsabhängige Standardvariante wird angenommen, dass Standorte mit hohem Graswachstum auch für die Ernährung von Vieh genutzt werden, so dass monatlich ein Anteil des Aufwuchses von der Blattbiomasse geerntet wird. In tropischen und gemäßigten Gebieten mit jährlichen Niederschlägen über 800 mm wird bei dieser Standardvariante eine Nettoprimärproduktion (NPP) von mehr als 500 gC m⁻², Bodenkohlenstoffgehalte zwischen 5 und 10 kg C m⁻² und Erntemengen von 500 gC m⁻² simuliert (Rolinski *et al.*, 2018, Fig. 3). Während in warmen Gebieten mit weniger Niederschlag sowohl Produktivität, Ernte und Bodenkohlenstoff sehr gering sind, reichert sich in polaren Gebieten mit Temperaturen unter 0°C bei geringer Primärproduktion und kaum Ernte ein hoher Bodenkohlenstoffgehalt an. Hier überwiegt der geringe Eintrag dennoch die Abbaurrate, die wegen der geringen Temperaturen reduziert ist, so dass sich im Boden C-Gehalte von 30 bis 50 kg C m⁻² anreichern können.

Ergebnisse zur Simulation der Mahd am Standort Paulinenaue

Obwohl diese Zusammenhänge plausibel sind, und deshalb auf eine generelle Funktionsfähigkeit des Modells hinweisen, sind Anwendungen auf einzelne Standorte zur Validation erforderlich. Da sich ein DGVM wie LPJmL von standortangepaßten Ertragsmodellen wie PaSim (Vuichard *et al.*, 2017) oder BasGra (Van Oijen *et al.*, 2015) dadurch unterscheidet, dass keine Kalibrierung auf die lokalen Verhältnisse vorgesehen ist, wurden für eine Simulation des Graswachstums und der Ernte vom Standort Paulinenaue lediglich lokal gemessene Temperaturen und Niederschläge verwendet und die Schnitttermine der tatsächlichen Biomasseentnahmen vorgeschrieben. Zum Vergleich liegen Ertragsmessungen des Langzeitversuchs mit unterschiedlichen Düngungsmengen vor (Abb. 1). Es wurde jährlich 3 bis 4 mal gemäht, wobei der erste Schnitt im Mittel am 29. Mai erfolgte, der zweite am 18. Juli und der dritte am 23. September. Jeweils nach dem Schnitt wurde gedüngt, so dass jährlich 0, 60, 120, 240 bzw. 480 kg N ha⁻¹ ausgebracht wurden. Da die aktuell verwendete Version von LPJmL keine explizite Limitierung durch Nährstoffe repräsentiert, ziehen wir für den Vergleich von simulierten und gemessenen Erträgen das moderate Düngungsniveau von 60 kg N ha⁻¹ heran. Die Simulationen resultieren für die Jahre 1978 bis 2016 in Trockenmasseerträgen, die für die 3 vorgenommenen Schnitte mit den gemessenen Werten vergleichbar sind (Abb. 2). Für die Jahre 1981, 1992, 1996 und 1997 werden wesentlich geringere Werte simuliert, was auf Unregelmäßigkeiten in den Eingangsdaten zurückzuführen ist, welche noch zu korrigieren sind. Davon abgesehen wird sowohl das mittlere Ertragsniveau als auch die interannuelle Variabilität gut getroffen (Tab. 1). Lediglich für den dritten Aufwuchs liegen die simulierten Werte um etwa 30% zu hoch und es wird die Variabilität vom Modell unterschätzt.

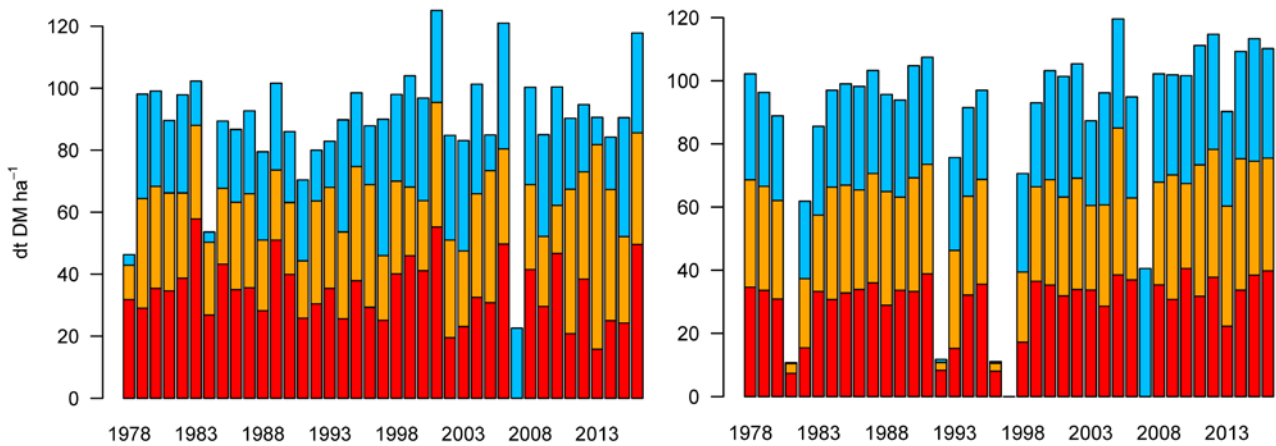


Abb. 2: Geerntete Biomasse (dt TM ha⁻¹ yr⁻¹) für ersten (rot), zweiten (orange) und dritten (blau) Aufwuchs von 1978 bis 2016 in Paulinenaue gemessen für 60 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ (links) und von LPJmL simuliert (rechts).

Tab. 1: Beobachtungen und Simulationsergebnisse der Aufwuchserträge in Paulinenaue (Mittelwerte ± Standardabweichungen) für die Jahre 1978-2016 (dt TM ha⁻¹ yr⁻¹).

	Aufwuchs 1	Aufwuchs 2	Aufwuchs 3
Beobachtung (N0)	31,0 ± 10,4	26,2 ± 9,9	22,9 ± 8,6
Beobachtung (N60)	35,5 ± 10,5	30,1 ± 10,0	26,2 ± 9,7
LPJmL	31,5 ± 8,3	32,2 ± 7,8	32,5 ± 3,8

Einen Eindruck der simulierten Dynamik vermitteln Zeitreihen der NPP, der Biomasse (beide in gC m⁻²) und des Bodenkohlenstoffs (kgC m⁻², Abb. 3). Während die Erträge der einzelnen Schnitte nur für die Simulation mit den vorgegebenen Mahdterminen (Mp) aufgeführt waren (Abb. 2), sind hier 2 weitere Simulationen aufgeführt. Die globale Version der Mahd wird durch jährlich zwei Schnitttermine realisiert (M) und ergibt kaum veränderte Werte der jährlichen NPP, aber etwa um 23% erhöhte mittlere Gesamtbiossamen sowie um 18% verringerte Kohlenstoffgehalte des Bodens. Dabei fällt auf, dass bei der selteneren Mahd der Bodenkohlenstoffgehalt über die Jahre leicht ansteigt (im Mittel 4 gC m⁻² yr⁻¹), während er bei häufigeren Ernten (Mp) um 6 gC m⁻² yr⁻¹ abnimmt. Wird bei 3-maligem Schnitt zusätzlich bewässert (Simulation Mpi), erhöht sich die NPP im Mittel nur um 5 gC m⁻², was zeigt, dass dieser Standort kaum von Wasserstress betroffen ist.

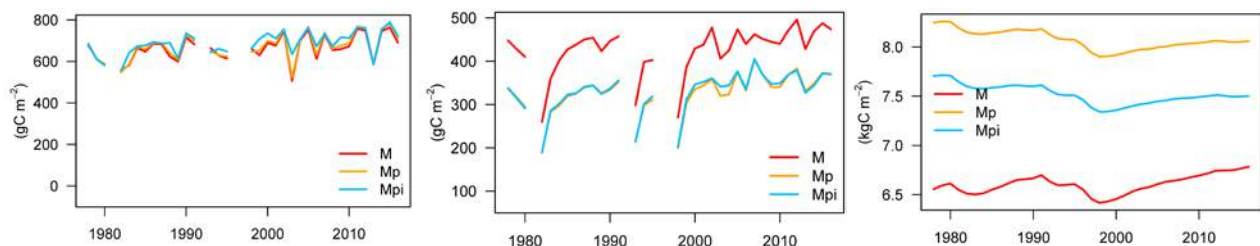


Abb. 3: Simulierte Netto-Primärproduktion (links), Kohlenstoff in der Vegetation (Mitte) und Bodenkohlenstoff (rechts) von 1978 bis 2016 in Paulinenaue. Die gezeigten Szenarien sind die Standardversion der Mahd (M), Mahd mit vorgegebenen Schnittterminen (Mp) sowie mit zusätzlicher Bewässerung (Mpi).

Weitere laufende Entwicklungen des Modells betreffen zum einen die Implementation von mehreren Grasarten und des Stickstoffkreislaufs, sowie Untersuchungen zu Feuer auf Grasland.

Implementation von neuen Grasarten

Im Rahmen einer Masterarbeit untersuchen wir die Koexistenz und Konkurrenz von verschiedenen Grasarten unter Beweidung. Die Auswahl der Arten bezog sich zunächst auf Standorte, für die im

Rahmen eines Modellvergleichs Informationen vorlagen (Ehrhardt *et al.*, 2018). Da aus der weltweit umfangreichsten Datenbank von Pflanzeigenschaften (TRY, Kattge *et al.*, 2011) nur eine Auswahl von Modellparametern zur Parametrisierung zur Verfügung standen, ist die Konkurrenz zwischen den Arten noch relativ moderat ausgeprägt. Für den vorgestellten Standort bildet sich eine Gemeinschaft von Klee und gemäßigten Straußgräsern (bentgrass) und Süßgräsern (buffalo grass) heraus (Abb. 4), die auch bei hohen Viehdichten bis zu 3.2 LSU ha⁻¹ eine standortübliche NPP gewährleisten. Weniger konkurrenzstarke Gräser wie Weidelgras (ryegrass) und Wiesen-Rispengras (bluegrass) kommen bei geringen Viehdichten vor, verschwinden jedoch aus der Gemeinschaft bei mehr als 1.6 bzw. 2.6 LSU ha⁻¹. Dieses sind vorläufige Ergebnisse, die für verschiedene Standorte und klimatische Bedingungen weiterentwickelt und verbessert werden.

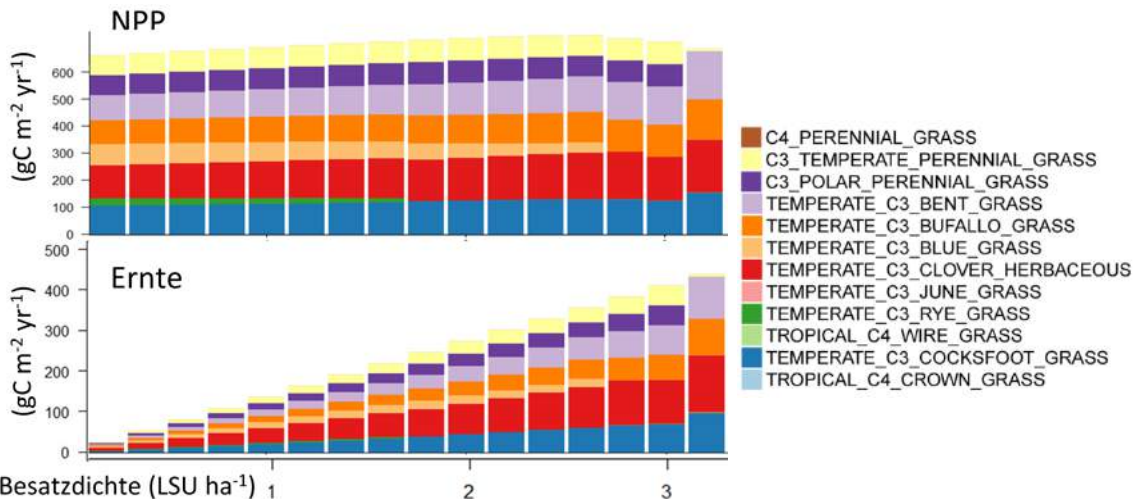


Abb. 4: Simulierte Netto-Primärproduktion (oben) und abgeweidete Biomasse (unten) je Grasart bei unterschiedlicher Viehdichte (LSU ha⁻¹).

Implementation von Feuer auf Grasland

Da Feuer in vielen Gebieten als Bewirtschaftungsmaßnahme eingesetzt wird, um die Fruchtbarkeit von marginalen Standorten zumindest für einen gewissen Zeitraum zu erhalten oder um vorhandene Blattbiomasse aus der letzten Vegetationsperiode in feuergefährdeten Gebieten zu entfernen, möchten wir uns im Rahmen einer Dissertation in Kooperation mit brasilianischen Partnern diesem Thema widmen. Dazu wird das vorhandene Feuer-Modul SpitFire (Thonicke *et al.*, 2010) auf Grasland angepaßt, sowie die Art der Bewirtschaftung mit Feuer charakterisiert. Während in Europa Grasland nicht mehr abgebrannt werden darf, sind Feuer außerhalb Europas weiterhin wichtige Bausteine in der Graslandbewirtschaftung auf ärmeren Böden oder offenen Landschaften, die sonst wieder verbuschen würden. Um die Nutzbarkeit von SpitFire zu testen, wurden Simulationen an drei Standorten in Brasilien durchgeführt, die zum einen nur natürlich vorkommende Feuer z.B. durch Blitzeinschlag oder auch anthropogen erzeugte Feuer am Anfang der Vegetationsperiode berücksichtigten. Während sich die jährliche NPP zwischen den Szenarien kaum unterscheidet, verringert sich die Biomasse in der Vegetation ganz leicht, die Emissionen steigen stark an und die Bodenkohlenstoffgehalte gehen um 6-7% zurück. Diese Zusammenhänge werden gerade auf einer Konferenz in Brasilien vorgestellt und mit den Projektpartnern diskutiert, so daß wir uns neue Möglichkeiten der Modellvalidation erhoffen.

Schlussfolgerungen

Die Berücksichtigung von Bewirtschaftungsmaßnahmen und verschiedenen Ernteoptionen auf Grasländern in LPJmL ermöglicht es, Auswirkungen von Viehhaltung auf globale biogeochemische Kreisläufe zu untersuchen und abzuschätzen. Es könnte eine gute Möglichkeit sein, Prozessverständnis an lokalen Experimenten und Standorten zu befördern, Auswirkungen einzelner Faktoren mithilfe von Szenarien heraus zu arbeiten, diese Erkenntnisse auf größere Skalen auszuweiten und Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen und veränderten klimatischen Bedingungen abzuschätzen.

Literatur

- BONDEAU, A., SMITH, P., ZAEHLE, S., SCHAPHOFF, S., LUCHT, W., CRAMER, W., GERTEN, D., LOTZE-CAMPEN, H., MÜLLER, C., REICHSTEIN, M. & SMITH, B. (2007): Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance, *Global Change Biology*, 2007, 13, 679-706.
- EHRHARDT, F., SOUSSANA, J.-F., BELLOCCHI, G., GRACE, P., MCAULIFFE, R., RECOUS, S., SÁNDOR, R., SMITH, P., SNOW, V., MIGLIORATI, M. D. A., BASSO, B., BHATIA, A., BRILLI, L., DOLTRA, J., DORICH, C. D., DORO, L., FITTON, N., GIACOMINI, S. J., GRANT, B., HARRISON, M. T., JONES, S. K., KIRSCHBAUM, M. U. F., KLUMPP, K., LAVILLE, P., LÉONARD, J., LIEBIG, M., LIEFFERING, M., MARTIN, R., MASSAD, R. S., MEIER, E., MERBOLD, L., MOORE, A. D., MYRGIOTIS, V., NEWTON, P., PATTEY, E., ROLINSKI, S., SHARP, J., SMITH, W. N., WU, L. & ZHANG, Q. (2018), Assessing uncertainties in crop and pasture ensemble model simulations of productivity and N₂O emissions. *Global Change Biology*, 24: e603-e616. <https://doi.org/10.1111/gcb.13965>
- KATTGE, J., DÍAZ, S., LAVOREL, S., PRENTICE, I.C., LEADLEY, P., BÖNISCH, G., GARNIER, E., WESTOBY, M., REICH, P.B., WRIGHT, I.J., CORNELISSEN, J.H.C., VIOLLE, C., HARRISON, S.P., VAN BODEGOM, P.M., REICHSTEIN, M., ENQUIST, B.J., SOUDZILOVSKAIA, N.A., ACKERLY, D.D., AN, M., ATKIN, O., BAHN, M., BAKER, T.R., BALDOCCHI, D., BEKKER, R., BLANCO, C.C., BLONDER, B., BOND, W.J., BRADSTOCK, R., BUNKER, D.E., CASANOVES, F., CAVENDER-BARES, J., CHAMBERS, J.Q., CHAPIN III, F.S., CHAVE, J., COOMES, D., CORNWELL, W.K., CRAINE, J.M., DOBRIN, B.H., DUARTE, L., DURKA, W., ELSER, J., ESSER, G., ESTIARTE, M., FAGAN, W.F., FANG, J., FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, F., FIDELIS, A., FINEGAN, B., FLORES, O., FORD, H., FRANK, D., FRESCHET, G.T., FYLLAS, N.M., GALLAGHER, R.V., GREEN, W.A., GUTIERREZ, A.G., HICKLER, T., HIGGINS, S.I., HODGSON, J.G., JALILI, A., JANSEN, S., JOLY, C.A., KERKHOFF, A.J., KIRKUP, D., KITAJIMA, K., KLEYER, M., KLOTZ, S., KNOPS, J.M.H., KRAMER, K., KÜHN, I., KUROKAWA, H., LAUGHLIN, D., LEE, T.D., LEISHMAN, M., LENS, F., LENZ, T., LEWIS, S.L., LLOYD, J., LLUSIÀ, J., LOUAULT, F., MA, S., MAHECHA, M.D., MANNING, P., MASSAD, T., MEDLYN, B.E., MESSIER, J., MOLES, A.T., MÜLLER, S.C., NADROWSKI, K., NAEEM, S., NIINEMETS, Ü., NÖLLERT, S., NÜSKE, A., OGAYA, R., OLEKSYN, J., ONIPCHENKO, V.G., ONODA, Y., ORDOÑEZ, J., OVERBECK, G., OZINGA, W.A., PATIÑO, S., PAULA, S., PAUSAS, J.G., PEÑUELAS, J., PHILLIPS, O.L., PILLAR, V., POORTER, H., POORTER, L., POSCHLOD, P., PRINZING, A., PROULX, R., RAMMIG, A., REINSCH, S., REU, B., SACK, L., SALGADO-NEGRET, B., SARDANS, J., SHIODERA, S., SHIPLEY, B., SIEFERT, A., SOSINSKI, E., SOUSSANA, J.-F., SWAINE, E., SWENSON, N., THOMPSON, K., THORNTON, P., WALDRAM, M., WEIHER, E., WHITE, M., WHITE, S., WRIGHT, S.J., YGUEL, B., ZAEHLE, S., ZANNE, A.E. & WIRTH, C. (2011), TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 17: 2905-2935. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x.
- VAN OIJEN, M. HÖGLIND, M., CAMERON, D.R. & THORSEN, S.M. (2015): BASGRA 2014, 10.5281/zenodo.27867.
- ROGASIK, J. und SCHROETTER, S. (1999): Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch: Effekte kombinierter organisch-mineralischer Düngung auf Nährstoffbilanzen und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit. *UFZ-Bericht*, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle 24, 33-36.
- ROLINSKI, S., MÜLLER, C., HEINKE, J., WEINDL, I., BIEWALD, A., BODIRSKY, B. L., BONDEAU, A., BOONS-PRINS, E. R., BOUWMAN, A. F., LEFFELAAR, P. A., TE ROLLER, J. A., SCHAPHOFF, S., & THONICKE, K. (2018): Modeling vegetation and carbon dynamics of managed grasslands at the global scale with LPJmL 3.6, *Geoscientific Model Development*, 11, 429-451, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-429-2018>.
- ROST, S.; GERTEN, D.; BONDEAU, A.; LUCHT, W.; ROHWER, J. & SCHAPHOFF, S. (2008): Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system, *Water Resources Research*, 44, W09405.
- SCHAPHOFF, S., HEYDER, U., OSTBERG, S., GERTEN, D., HEINKE, J. & LUCHT, W. (2013) Contribution of permafrost soils to the global carbon budget *Environmental Research Letters*, 8, 014026.
- SCHAPHOFF, S., VON BLOH, W., RAMMIG, A., THONICKE, K., BIEMANS, H., FORKEL, M., GERTEN, D., HEINKE, J., JÄGERMEYR, J., KNAUER, J., LANGERWISCH, F., LUCHT, W., MÜLLER, C., ROLINSKI, S., & WAHA, K. (2018): LPJmL4 – a dynamic global vegetation model with managed land – Part 1: Model description, *Geoscientific Model Development*, 11, 1343-1375, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1343-2018>.
- THONICKE, K., SPESSA, A., PRENTICE, I.C., HARRISON, S.P., DONG, L., & CARMONA-MORENO, C. (2010): The influence of vegetation, fire spread and fire behaviour on biomass burning and trace gas emissions: results from a process-based model. *Biogeosciences*, 7, 1991-2011.
- VUICHARD, N., SOUSSANA, J.-F., CIAIS, P., VIOVY, N., AMMANN, C., CALANCA, P., LIFTON-BROWN, J., FUHRER, J., JONES, M., & MARTIN, C., (2007), Estimating the greenhouse gas fluxes of European grasslands with a process-based model: 1. Model evaluation from in situ measurements, *Global Biogeochemical Cycles*, 21, GB1004, doi: 10.1029/2005GB002611.)