

Supplementary Materials: Environmental Performance of Miscanthus, Switchgrass and Maize: Can C4 Perennials Increase the Sustainability of Biogas Production?

Andreas Kiesel, Moritz Wagner and Iris Lewandowski

Table S1. Climate change in kg CO₂-eqv. per kg DM biomass.

Processes/Flows	Maize per kg DM		Switchgrass per kg DM		Miscanthus per kg DM		Unit
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	
Production of nitrogen fertilizer	0.0768	0.1152	0.0341	0.0579	0.0213	0.0256	kg CO ₂ -eqv.
Production of potassium fertilizer	0.0048	0.0072	0.0029	0.0049	0.0017	0.0020	kg CO ₂ -eqv.
Production of phosphate fertilizer	0.0064	0.0096	0.0032	0.0054	0.0017	0.0021	kg CO ₂ -eqv.
Herbicides	0.0028	0.0043	0.0008	0.0014	0.0005	0.0006	kg CO ₂ -eqv.
Seeds/Rhizomes	0.0002	0.0003	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	kg CO ₂ -eqv.
Agricultural management	0.0074	0.0112	0.0013	0.0023	0.0008	0.0009	kg CO ₂ -eqv.
Harvest	0.0038	0.0057	0.0047	0.0080	0.0028	0.0034	kg CO ₂ -eqv.
Transport input substrates	0.0012	0.0017	0.0006	0.0010	0.0004	0.0005	kg CO ₂ -eqv.
Transport biomass	0.0049	0.0059	0.0032	0.0034	0.0029	0.0030	kg CO ₂ -eqv.
Fertilizer-induced emissions	0.0547	0.0881	0.0319	0.0525	0.0178	0.0216	kg CO ₂ -eqv.
Ensilage	0.0003	0.0004	0.0004	0.0006	0.0002	0.0003	kg CO ₂ -eqv.
Biomass production system	0.1635	0.2497	0.0831	0.1375	0.0503	0.0602	kg CO₂-eqv.

Table S2. Freshwater eutrophication in kg P-eqv. per kg DM biomass.

Processes/Flows	Maize per kg DM		Switchgrass per kg DM		Miscanthus per kg DM		Unit
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	
Production of nitrogen fertilizer	1.18×10^{-7}	1.77×10^{-7}	5.23×10^{-8}	8.90×10^{-8}	3.27×10^{-8}	3.93×10^{-8}	kg P-eqv.
Production of potassium fertilizer	7.20×10^{-9}	1.08×10^{-8}	4.31×10^{-9}	7.33×10^{-9}	2.52×10^{-9}	3.03×10^{-9}	kg P-eqv.
Production of phosphate fertilizer	7.55×10^{-8}	1.13×10^{-7}	3.71×10^{-8}	6.31×10^{-8}	2.01×10^{-8}	2.41×10^{-8}	kg P-eqv.
Herbicides	1.47×10^{-8}	2.20×10^{-8}	4.25×10^{-9}	7.22×10^{-9}	2.77×10^{-9}	3.33×10^{-9}	kg P-eqv.
Seeds/Rhizomes	1.34×10^{-7}	2.01×10^{-7}	1.95×10^{-8}	3.31×10^{-8}	1.76×10^{-7}	2.11×10^{-7}	kg P-eqv.
Agricultural management	4.90×10^{-8}	7.35×10^{-8}	8.88×10^{-9}	1.51×10^{-8}	5.03×10^{-9}	6.05×10^{-9}	kg P-eqv.
Harvest	2.50×10^{-8}	3.74×10^{-8}	3.10×10^{-8}	5.27×10^{-8}	1.87×10^{-8}	2.25×10^{-8}	kg P-eqv.
Transport input substrates	7.62×10^{-9}	1.14×10^{-8}	3.76×10^{-9}	6.38×10^{-9}	2.46×10^{-9}	2.96×10^{-9}	kg P-eqv.
Transport biomass	3.23×10^{-8}	3.89×10^{-8}	2.11×10^{-8}	2.26×10^{-8}	1.89×10^{-8}	1.99×10^{-8}	kg P-eqv.
Fertilizer-induced emissions	2.34×10^{-5}	3.50×10^{-5}	1.15×10^{-5}	1.95×10^{-5}	6.22×10^{-6}	7.47×10^{-6}	kg P-eqv.
Ensilage	2.72×10^{-9}	2.72×10^{-9}	4.10×10^{-9}	4.10×10^{-9}	1.81×10^{-9}	1.81×10^{-9}	kg P-eqv.
Biomass production system	2.38×10^{-5}	3.57×10^{-5}	1.17×10^{-5}	1.98×10^{-5}	6.50×10^{-6}	7.81×10^{-6}	kg P-eqv.

Table 3. Fossil fuel depletion potential in kg oil-equiv. per kg DM biomass.

Processes/Flows	Maize per kg DM		Switchgrass per kg DM		Miscanthus kg per DM		Unit
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	
Production of nitrogen fertilizer	0.0160	0.0239	0.0071	0.0120	0.0044	0.0053	kg oil-equiv.
Production of potassium fertilizer	0.0021	0.0031	0.0012	0.0021	0.0007	0.0009	kg oil-equiv.
Production of phosphate fertilizer	0.0032	0.0048	0.0016	0.0027	0.0009	0.0010	kg oil-equiv.
Herbicides	0.0013	0.0019	0.0004	0.0006	0.0002	0.0003	kg oil-equiv.
Seeds/Rhizomes	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	kg oil-equiv.
Agricultural management	0.0024	0.0036	0.0004	0.0007	0.0002	0.0003	kg oil-equiv.
Harvest	0.0012	0.0018	0.0015	0.0026	0.0009	0.0011	kg oil-equiv.
Transport input substrates	0.0004	0.0006	0.0002	0.0003	0.0001	0.0001	kg oil-equiv.
Transport biomass	0.0016	0.0019	0.0010	0.0011	0.0009	0.0010	kg oil-equiv.
Fertilizer-induced emissions	0	0	0	0	0	0	kg oil-equiv.
Ensilage	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	kg oil-equiv.
Biomass production system	0.0282	0.0418	0.0135	0.0224	0.0085	0.0101	kg oil-equiv.

Table S4. Marine eutrophication potential in kg N-equiv. per kg DM biomass.

Processes/Flows	Maize per kg DM		Switchgrass per kg DM		Miscanthus per kg DM		Unit
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	
Production of nitrogen fertilizer	2.60×10^{-5}	3.90×10^{-5}	1.15×10^{-5}	1.96×10^{-5}	7.20×10^{-6}	8.65×10^{-6}	kg N-equiv.
Production of potassium fertilizer	5.79×10^{-7}	8.68×10^{-7}	3.47×10^{-7}	5.89×10^{-7}	2.02×10^{-7}	2.43×10^{-7}	kg N-equiv.
Production of phosphate fertilizer	1.21×10^{-6}	1.82×10^{-6}	5.97×10^{-7}	1.02×10^{-6}	3.23×10^{-7}	3.88×10^{-7}	kg N-equiv.
Herbicides	3.74×10^{-7}	5.60×10^{-7}	1.08×10^{-7}	1.84×10^{-7}	7.06×10^{-8}	8.49×10^{-8}	kg N-equiv.
Seeds/Rhizomes	1.89×10^{-6}	2.83×10^{-6}	7.18×10^{-7}	1.22×10^{-6}	1.04×10^{-6}	1.25×10^{-6}	kg N-equiv.
Agricultural management	4.19×10^{-6}	6.28×10^{-6}	7.95×10^{-7}	1.35×10^{-6}	4.48×10^{-7}	5.39×10^{-7}	kg N-equiv.
Harvest	2.10×10^{-6}	3.15×10^{-6}	2.60×10^{-6}	4.43×10^{-6}	1.57×10^{-6}	1.89×10^{-6}	kg N-equiv.
Transport input substrates	2.96×10^{-7}	4.44×10^{-7}	1.46×10^{-7}	2.48×10^{-7}	9.56×10^{-8}	1.15×10^{-7}	kg N-equiv.
Transport biomass	2.96×10^{-6}	3.57×10^{-6}	1.94×10^{-6}	2.08×10^{-6}	1.73×10^{-6}	1.83×10^{-6}	kg N-equiv.
Fertilizer-induced emissions	4.08×10^{-5}	6.12×10^{-5}	1.81×10^{-5}	3.07×10^{-5}	1.13×10^{-5}	1.36×10^{-5}	kg N-equiv.
Ensilage	1.93×10^{-7}	2.90×10^{-7}	2.57×10^{-7}	4.37×10^{-7}	1.61×10^{-7}	1.93×10^{-7}	kg N-equiv.
Biomass production system	8.06×10^{-5}	1.20×10^{-4}	3.71×10^{-5}	6.19×10^{-5}	2.41×10^{-5}	2.88×10^{-5}	kg N-equiv.

Table S5. Terrestrial acidification potential in kg SO₂-eqv. per kg DM biomass.

Processes/Flows	Maize per kg DM		Switchgrass per kg DM		Miscanthus per kg DM		Unit
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	
Production of nitrogen fertilizer	7.325×10^{-5}	1.098×10^{-4}	3.246×10^{-5}	5.518×10^{-5}	2.029×10^{-5}	2.440×10^{-5}	kg SO ₂ -eqv.
Production of potassium fertilizer	8.235×10^{-6}	1.235×10^{-5}	4.934×10^{-6}	8.388×10^{-6}	2.882×10^{-6}	3.465×10^{-6}	kg SO ₂ -eqv.
Production of phosphate fertilizer	4.719×10^{-5}	7.076×10^{-5}	2.322×10^{-5}	3.947×10^{-5}	1.255×10^{-5}	1.509×10^{-5}	kg SO ₂ -eqv.
Herbicides	6.339×10^{-6}	9.503×10^{-6}	1.834×10^{-6}	3.118×10^{-6}	1.197×10^{-6}	1.44×10^{-6}	kg SO ₂ -eqv.
Seeds/Rhizomes	2.182×10^{-6}	3.271×10^{-6}	5.439×10^{-7}	9.247×10^{-7}	1.259×10^{-6}	1.514×10^{-6}	kg SO ₂ -eqv.
Agricultural management	5.154×10^{-5}	7.728×10^{-5}	9.857×10^{-6}	1.676×10^{-5}	5.551×10^{-6}	6.674×10^{-6}	kg SO ₂ -eqv.
Harvest	2.573×10^{-5}	3.858×10^{-5}	3.193×10^{-5}	5.428×10^{-5}	1.925×10^{-5}	2.314×10^{-5}	kg SO ₂ -eqv.
Transport input substrates	8.882×10^{-7}	1.332×10^{-6}	4.378×10^{-7}	7.442×10^{-7}	2.869×10^{-7}	3.449×10^{-7}	kg SO ₂ -eqv.
Transport biomass	3.687×10^{-5}	4.442×10^{-5}	2.411×10^{-5}	2.585×10^{-5}	2.156×10^{-5}	2.277×10^{-5}	kg SO ₂ -eqv.
Fertilizer-induced emissions	8.275×10^{-4}	1.241×10^{-3}	3.667×10^{-4}	6.234×10^{-4}	2.292×10^{-4}	2.756×10^{-4}	kg SO ₂ -eqv.
Ensilage	2.454×10^{-6}	3.68×10^{-6}	3.263×10^{-6}	5.547×10^{-6}	2.04×10^{-6}	2.453×10^{-6}	kg SO ₂ -eqv.
Biomass production system	1.08×10^{-3}	1.61×10^{-3}	4.99×10^{-4}	8.34×10^{-4}	3.16×10^{-4}	3.77×10^{-4}	kg SO₂-eqv.