

# **Ökobilanzierung von ausgewählten Zwischenfrüchten zur Gründung anhand eines Versuchsstandortes in Ost- österreich**

## **Masterarbeit**

an der Universität für Bodenkultur

Masterstudium: Stoffliche und energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe

vorgelegt von  
**Simone Krause**

betreut von  
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Gronauer  
Dipl.-Ing. Dr. Iris Kral  
Dr. Norman Siebrecht (TU München)

Wien, am 23.10.2019

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Wien,

## **Danksagung**

Ich bedanke mich für die gute Betreuung und wertvolle Unterstützung bei Dipl.-Ing. Dr. Iris Kral und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Gronauer bzw. für die Betreuung der Anfangsphase meiner Masterarbeit bei Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Piringer. Weiters möchte ich Dipl.-Ing. Pia Euteneuer meinen Dank für die Bereitstellung der Datenbasis für diese Arbeit aussprechen.

Besonders herzlich möchte ich meinen Eltern und meinem Lebensgefährten danken, dass sie über all die Jahre an mich geglaubt und mich in jeder Hinsicht unterstützt haben.

Einen besonderen Dank möchte ich meiner Freundin Caro aussprechen. Danke für all unsere gemeinsamen „MA working sessions“ und die Motivation, die du mir geschenkt hast.

## Abstract

The cultivation of catch crops has many positive effects, especially concerning the management of nitrogen in agricultural soils. The cultivation of catch crops between the cultivation of the preceding and the main crop should reduce nitrate leaching over the winter and provide nitrogen for the following main crop. In this study, the effects of the catch crops oil radish (*Raphanus sativus*), vetchling (*Lathyrus sativus*), bristle oat (*Avena strigosa*) and blackseed (*Guizotia abyssinica*) in combination with soy as the main crop are investigated. A fallow land serves as a reference system. The focus of this work is on the calculation of field emissions using the simulation model DNDC (DeNitrification DeComposition) and the integration of the results into the life cycle assessment. The primary data originates from experimental sites of the University of Applied Life Sciences Vienna in Groß-Enzersdorf. The environmental impacts of the entire cultivation systems were calculated using the life cycle assessment software openLCA Version 1.8 and the ecoinvent Version 3.4 database. The environmental impacts of six impact categories were considered, on the one hand with regard to one kg DM soy as a functional unit, on the other hand with regard to one hectare of land with and without catch crop cultivation. During the time between the harvest of the previous crop and the sowing of soy, simulated nitrate leaching is 4-14 times higher in the fallow land as in the catch crops. In all impact categories, beside the marine eutrophication, intercropping achieves worse results than fallow land. This is due to the additional use of machinery and seed production for catch crop cultivation. For example, the fallow achieves 388 kg CO<sub>2</sub> eq./ha and 0,57 kg N-eq./ha when looking at the GWP and the marine eutrophication. In comparison, the vetchling with 1867 kg CO<sub>2</sub> eq./ha and the blackseed with 0,2 kg N-eq./ha have the worst and the best results in these categories. The results of the soybean systems with the previous catch crop cultivation achieved worse values in all impact categories than the cultivation with the previous fallow land. In summary, it can be said that the positive effects of catch crops could not be shown properly in this LCA as the method does not model soil in a holistic way. Therefore, more studies working on this problem will be needed.

## Kurzfassung

Dem Anbau von Zwischenfrüchten werden viele positive Effekte zugeschrieben, vor allem im Zusammenhang mit dem Management von Stickstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden. In dieser Arbeit wird die Wirkung der Zwischenfrüchte Ölrettich (*Raphanus sativus*), Platterbse (*Lathyrus sativus*), Sandhafer (*Avena strigosa*) und Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*) in Verbindung mit Soja als Hauptfrucht untersucht. Als Referenzsystem dient eine Brache. Dabei liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Berechnung der Feldemissionen durch das Simulationsmodell DNDC (DeNitrification DeComposition) und die Integration der Ergebnisse in die Ökobilanz. Die Primärdaten stammen von Versuchsflächen der BOKU Wien in Groß-Enzersdorf. Die Umweltwirkungen der gesamten Anbausysteme wurden mittels der Ökobilanzierungssoftware openLCA Version 1.8 und der Datenbank ecoinvent Version 3.4 berechnet. Dabei wurden die Umweltwirkungen von sechs Wirkungskategorien betrachtet, einmal in Hinblick auf ein Kilogramm TM Soja als funktionelle Einheit, einmal auf ein Hektar Land mit oder ohne Zwischenfruchtanbau. Während der Zeit zwischen der Ernte der Vorfrucht und der Aussaat der Hauptfrucht, ergeben die simulierten Emissionen durch DNDC bei der Brache eine 4-14 mal höhere Nitratauswaschung als der Zwischenfruchtanbau. In allen Wirkungskategorien, außer der marinen Eutrophierung, erzielt der Zwischenfruchtanbau schlechtere Ergebnisse als die Brache. Dies ist auf den zusätzlichen Maschineneinsatz und die Saatgutproduktion für den Zwischenfruchtanbau zurückzuführen. Beispielsweise erzielt die Brache 388 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha beim GWP und 0,2 kg N-äq./ha bei der marinen Eutrophierung. Im Vergleich dazu erreicht die Platterbse mit 1867 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha und das Ramtillkraut mit 0,2 kg N-äq./ha das schlechteste und das beste Resultat in der jeweiligen Kategorie. Die Ergebnisse der Sojasysteme mit dem vorangegangenen Zwischenfruchtanbau erzielen in allen Wirkungskategorien schlechtere Werte als der Anbau mit vorangegangener Brache. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die positiven Effekte von Zwischenfrüchten in dieser Arbeit nicht aufgezeigt werden konnten, da die Methode die Bodendynamiken nicht ganzheitlich modelliert. Daher sind weitere Studien erforderlich, die sich mit diesem Problem befassen.

# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	IV
Kurzfassung.....	V
Abbildungsverzeichnis .....	IX
Tabellenverzeichnis .....	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung.....	1
2 Stand des Wissens .....	3
2.1 Zwischenfruchtanbau .....	3
2.2 Der Stickstoffkreislauf.....	5
2.3 Gründüngung in der Ökobilanzierung.....	10
2.4 Stickstoffmodelle in der Ökobilanzierung .....	12
3 Zielsetzung .....	14
4 Material und Methode .....	15
4.1 Grundlagen der Ökobilanzierung.....	15
4.2 Modellierung des Stickstoffkreislaufs .....	19
4.2.1 Primärdatenerhebung mittels Feldversuch.....	19
4.2.2 Das Stickstoffmodell für die Ökobilanz.....	24
4.3 Software .....	26
4.3.1 openLCA .....	26
4.3.2 Das DNDC- Modell.....	26
4.4 Pflanzencharakteristika der ausgewählten Zwischenfrüchte .....	31
4.4.1 Leguminose ( <i>Fabaceae</i> ) .....	32
4.4.2 Kreuzblütler ( <i>Brassicaceae</i> ) .....	32
4.4.3 Gräser ( <i>Poaceae</i> ).....	33
4.4.4 Korbblütler ( <i>Asteraceae</i> ) .....	33
4.5 Datengrundlage und Sachbilanz .....	34
4.5.1 Saatgutdaten.....	34
4.5.2 Maschinendaten.....	35
4.5.3 Ergebnisse der Simulation durch DNDC .....	37
4.6 Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse .....	38
4.6.1 Unsicherheitsanalyse .....	38
4.6.2 Sensitivitätsanalyse.....	39

5 Ergebnisse und Diskussion .....	40
5.1 Auswertung der Gesamtemissionen der Zwischenfruchtsysteme und der Brache.....	40
5.1.1 Vergleich zwischen den Jahren 2015 und 2016.....	45
5.2 Beitragsanalyse der Zwischenfruchtsysteme .....	45
5.2.1 Globales Treibhauspotenzial.....	45
5.2.2 Marine Eutrophierung.....	46
5.2.3 Aquatische Eutrophierung.....	47
5.2.4 Aquatische Ökotoxizität.....	48
5.2.5 Humantoxizität .....	49
5.2.6 Knappheit fossiler Ressourcen .....	50
5.2.7 Terrestrische Versauerung.....	51
5.3 Auswahl der zwei Zwischenfrüchte mit den besten Gesamtergebnissen .....	52
5.4 Auswertung der Gesamtemissionen der drei betrachteten Sojaanbausysteme .....	53
5.5 Beitragsanalyse der Sojaanbausysteme .....	55
5.5.1 Globales Treibhauspotenzial.....	55
5.5.2 Aquatische Eutrophierung.....	56
5.5.3 Aquatische Ökotoxizität.....	57
5.5.4 Humantoxizität .....	58
5.5.6 Terrestrische Versauerung.....	60
5.6 Sensitivitätsanalyse.....	61
5.6.1 Mineraldüngeräquivalent.....	61
5.6.2 Vergleich der Gesamtemissionen bei der Hauptfrucht Mais statt Soja.....	63
5.6.3 Ersatz des Traktors Steyr CVT durch einen kleineren Traktor der ecoinvent Datenbank.....	64
5.7 Diskussion und Schlussfolgerungen.....	65
6 Weiterführende Arbeiten.....	69
7 Zusammenfassung .....	70
Literaturverzeichnis .....	72
Anhang .....	77
Anhang A – Datenblätter der eingesetzten landwirtschaftlichen Maschinen .....	77
Anhang B- Bodendaten des Versuchsstandortes Groß- Enzersdorf .....	79
Anhang C- Durchschnittssojaerträge und Standardabweichung des Sojaertrags .	79
Anhang D- Nitratgehalte im Boden.....	80

Anhang E- Daten zu den Zwischenfrüchten .....	85
Anhang F- Wetterdaten der Jahre 2011 bis 2016 in Groß- Enzersdorf .....	85
Anhang G- Ergebnisse der Gesamtemissionen der Sojasysteme für das Jahr 2016 .....	133

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Stickstoffdynamik im Ackerbau (BISZ, 2018).....	6
Abbildung 2 Ablauf der Ökobilanz (Frischknecht, 2013).....	16
Abbildung 3 Systemfließbild des Feldversuchs inklusive funktioneller Einheit.....	17
Abbildung 4 Eigene Darstellung: Rotation mit allen Feldarbeitsgängen .....	21
Abbildung 5 Eigene Darstellung: Zeitliche Abfolge der ersten Fruchtfolge .....	21
Abbildung 6 Eigene Darstellung: Zeitliche Abfolge der zweiten Fruchtfolge .....	22
Abbildung 7 Gehalte an mineralisiertem Stickstoff der Bodenproben im Jahr 2015, gegliedert nach der Tiefe der Probennahme .....	23
Abbildung 8 Gehalte an mineralisiertem Stickstoff der Bodenproben im Jahr 2016, gegliedert nach der Tiefe der Probennahme .....	24
Abbildung 9 Schematische Darstellung des DNDC Modells nach Tabatabaie et al. (2018).....	28
Abbildung 10 Eingabefeld der bodenspezifischen Parameter in DNDC .....	30
Abbildung 11 Eingabefeld der anbauspezifischen Parameter in DNDC .....	31
Abbildung 12 Relativer Beitrag der Zwischenfruchtsysteme und der Brache im Zeitraum Juli 2014- April 2015 je Wirkungskategorie; Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	41
Abbildung 13 Relativer Beitrag der vier Zwischenfruchtsysteme und der Brache für den Zeitraum Juli 2015- April 2016 je Wirkungskategorie; Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	43
Abbildung 14 Beiträge der vier Zwischenfruchtsysteme zum globalen Treibhauspotenzial .....	46
Abbildung 15 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur marinen Eutrophierung.....	47
Abbildung 16 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur aquatischen Eutrophierung	48
Abbildung 17 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur aquatischen Ökotoxizität ....	49
Abbildung 18 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur Humantoxizität .....	50
Abbildung 19 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur Knappheit fossiler Ressourcen .....	51
Abbildung 20 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur terrestrischen Versauerung	52
Abbildung 21 Relative Beiträge der drei Sojaanbausysteme je Wirkungskategorie im Jahr 2016.....	54

Abbildung 22 Beiträge der Sojaanbausysteme zum globalen Treibhauspotenzial ...	56
Abbildung 23 Beiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Eutrophierung .....	57
Abbildung 24 Beiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Ökotoxizität .....	58
Abbildung 25 Beiträge der Sojaanbausysteme zur Humantoxizität .....	59
Abbildung 26 Beiträge der Sojaanbausysteme zur Knappheit fossiler Ressourcen .	60
Abbildung 27 Beiträge der Sojaanbausysteme zur terrestrischen Versauerung .....	61
Abbildung 28 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zum globalen Treibhauspotenzial. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	133
Abbildung 29 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Eutrophierung. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	133
Abbildung 30 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Ökotoxizität. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	134
Abbildung 31 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur Humantoxizität. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	134
Abbildung 32 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur Knappheit fossiler Ressourcen. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	135
Abbildung 33 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur terrestrischen Versauerung. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation .....	135

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Durchschnittswerte der Stickstoffaufnahme von Zwischenfrüchten in der ober- und unterirdischen Biomasse (Kolbe et al., 2015).....	32
Tabelle 2 Eignung der Zwischenfrüchte für die gewünschten Ziele nach NRW Landwirtschaftskammer (2013) .....	34
Tabelle 3 Vergleich der Gewichte der Traktoren/Maschinen .....	35
Tabelle 4 Dieserverbräuche der einzelnen Arbeitsgänge in l/ha .....	36
Tabelle 5 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Zeitraum von 01.07.2015 (nach Ernte von Winterraps) bis 25.04.2016 (Anbau Soja).....	37
Tabelle 6 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Anbauzeitraum des Sojas von 25.04.- 15.09.2016.....	37
Tabelle 7 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Zeitraum von 15.07.2014 (nach Ernte Winterweizen) bis 21.04.2015 (Anbau Soja).....	37
Tabelle 8 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Anbauzeitraum von Soja von 21.04.2015- 22.09.2015 .....	38
Tabelle 9 Vergleich der Gesamtemissionen der zwei Zwischenfruchtsysteme und der Brache im Zeitraum Juli 2014- April 2015 je Wirkungskategorie .....	40
Tabelle 10 Vergleich der Gesamtemissionen der vier Zwischenfruchtsysteme und der Brache für den Zeitraum Juli 2015- April 2016 je Wirkungskategorie .....	42
Tabelle 11 Vergleich der Gesamtemissionen der Sojasysteme je Wirkungskategorie im Jahr 2016.....	53
Tabelle 12 Vergleich der Umweltwirkungen der Varianten mit Mineraldüngereinsatz im Vergleich zum Zwischenfruchtanbau als Gründüngung.....	62
Tabelle 13 Vergleich der Stickstofffeldemissionen der Simulation mit DNDC mit einer Stickstoffdüngung des Sojas mit 20 kg und mit 40 kg .....	63
Tabelle 14 Vergleich der Gesamtemissionen zwei Maisanbausysteme je Wirkungskategorie und Vergleich der Ergebnisse für den Maisanbau aus DNDC des Anbauzeitraums 01.05- 20.10.....	63
Tabelle 15 Vergleich der Umweltauswirkungen des Grubberprozesses je Wirkungskategorie, einmal mit Steyr CVT und einmal mit ecoinvent Traktor .....	64
Tabelle 16 Technische Daten, Steyr Profi CVT 6240 nach Steyr Traktoren, 2019 ...	77
Tabelle 17 Technische Daten, Steyr 9080 (Mößmer, 2009).....	77
Tabelle 18 Technische Daten, Einböck Aerostar 1200 Hackstriegel (Einböck, 2019) .....	77

Tabelle 19 Technische Daten, Mähdrescher CASE IH AFX 8010 (CASE IH, 2019)	78
Tabelle 20 Technische Daten, Pöttinger Terrasem R3 Mulchsaatmaschine (Pöttinger, 2019) .....	78
Tabelle 21 Technische Daten, MaterMacc MS8130 (MaterMacc, 2019).....	78
Tabelle 22 Technische Daten, Kerner Galaxis G300 Flügelscharrgrubber .....	79
Tabelle 23 Bodendaten des Versuchsstandortes Groß- Enzersdorf, Angaben für den Ap-Horizont.....	79
Tabelle 24 Standardabweichung für den Sojaertrag.....	79
Tabelle 25 Sojaerträge nach dem Zwischenfruchtanbau oder einer Brache der Jahre 2015 und 2016.....	80
Tabelle 26 Stickstoffgehalte in den Horizonten a=0-30 cm, b=30-60 cm, c=60-90 cm oder a=0-10 cm, b=10-30 cm, c=30-60 cm, d=60-90 cm; HF: Soja, ZF: 14= Platterbse, 15= Brache, 17= Ölrettich, 20= Sandhafer, 21= Ramtillkraut .....	80
Tabelle 27 Messdaten zur oberirdischen Biomasse und der Wurzelbiomasse der Zwischenfrüchte und deren C/N-Verhältnis .....	85
Tabelle 28 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2011.....	85
Tabelle 29 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2012.....	93
Tabelle 30 Wetterdaten von Gross- Enzersdorf des Jahres 2013 .....	101
Tabelle 31 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2014.....	109
Tabelle 32 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2015.....	117
Tabelle 33 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2016.....	125

## Abkürzungsverzeichnis

1,4 DCB-äq. 1,4- Dichlorbenzoläquivalent

AB	Arbeitsbreite
CH <sub>4</sub>	Methan
DNDC	DeNitrification and DeComposition
Gew.-%	Gewichtsprozent
GWP	Global warming potential
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kW	Kilowatt
LCA	Life Cycle Assessment
MJ-äq.	Megajouleäquivalent
N <sub>2</sub>	Luftstickstoff
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
N-äq.	Stickstoffäquivalent
NO <sub>3</sub> -N	Nitratstickstoff
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NH <sub>2</sub> OH	Hydroxylamin
NMVOC	flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
Oil-äq.	Öläquivalent
ÖPUL	Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft
P-äq.	Phosphoräquivalent
SB	Sojaanbausystem nach Brache
SR	Sojaanbausystem nach Ramtillkraut
SÖ	Sojaanbausystem nach Ölrettich
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
ZF	Zwischenfrucht

# 1 Einleitung

Die heutige energieintensive Landwirtschaft ist Verursacher vieler negativer Umweltauswirkungen wie Bodenerosion oder Belastung des Grundwassers und des Bodens durch Pestizide und Nährstoffe. Der Ruf wird lauter, umweltschonendere landwirtschaftliche Systeme zu etablieren, die externe Inputs reduzieren und natürliche Ressourcen schonen. Dabei wird darauf gesetzt, Stickstoff biologisch zu fixieren und Krankheiten und Schädlinge biologisch unter Kontrolle zu bringen (Pelletier et al., 2008). Die umweltrelevanten Auswirkungen landwirtschaftlicher Produktion zu erfassen und zu analysieren ist wichtig, da 20-60% der Umweltauswirkungen in Europa durch die Landwirtschaft verursacht werden. Beispielsweise sind 20% des Energieverbrauchs auf den Lebensmittelsektor zurückzuführen oder 58% der Eutrophierung (Nemecek; Kägi, 2007). Vor allem in Hinblick auf den Klimawandel sollte der landwirtschaftliche Sektor versuchen seine Treibhausgasemissionen an CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> zu reduzieren. Dies kann vor allem durch angepasstes Management erzielt werden, wodurch es nicht nur zu einer Reduktion an Emissionen, sondern sogar zu einer Bindung von Kohlenstoff im Boden kommen kann (Tabatabaie et al., 2018). Das Management von landwirtschaftlichen Flächen beeinflusst im großen Maße die Kohlenstoff- und Stickstoffdynamiken im Boden. Faktoren wie Bodenbearbeitung, Düngereinsatz oder Fruchtfolge spielen dabei eine wichtige Rolle. Dazu kommen die Standortbedingungen, die zu berücksichtigen sind (Goglio et al., 2014). Um das beste Management umzusetzen, müssen die Interaktionen zwischen Boden, Pflanzen und Atmosphäre verstanden werden und die Effekte verschiedener Parameter abgeschätzt werden. Simulationsmodelle sind in dieser Beziehung wichtige Instrumente und tragen dazu bei, die Leistung von Agrarökosystemen abzuschätzen und anzupassen (Tabatabaie et al., 2018).

Ganzheitliche Ansätze wie die Ökobilanzierung versuchen die Emissionen aller Prozesse über die gesamte Produktionskette abzubilden und alle Umweltauswirkungen des Ackerbaus zu beurteilen. Dabei sollen Systeme verglichen und Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen werden. Um die Treibhausgasemissionen mit einbeziehen zu können, braucht es in der Ökobilanzierung zusätzliche Modelle. Oftmals werden die IPCC Methoden verwendet, mit denen die Emissionen jedoch nur grob abgeschätzt werden können. Um ein Bild von den regionalen Gegebenheiten mittels Ökobilanzierung zu zeichnen, braucht es Agrarsimulationsmodelle, die allerdings große Datenmengen – über Nährstoffgehalte

im Boden, Klima, Bodenbearbeitung, Düngung, Umgang mit Pflanzenrückständen - benötigen. Meist muss ein Kompromiss zwischen Machbarkeit und Genauigkeit gefunden werden, wenn ein Simulationsmodell ausgesucht wird (Goglio et al., 2017).

Laut dem Grünen Bericht (BMNT, 2017) sind 23% der Flüsse in Österreich mit Nährstoffen belastet. Vor allem Stickstoff und Phosphor tragen zur Eutrophierung bei und können letztendlich in der Nordsee oder im Schwarzen Meer negative Umweltauswirkungen mit sich bringen. In Österreich werden im Grundwasser die Grenzwerte für Nitrat (45 mg/l) generell nicht überschritten, in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten, wie z.B. im Marchfeld, treten jedoch erhöhte Nitratbelastungen im Sickerwasser auf. Diese werden durch übermäßige Düngung verursacht. Im Jahr 2013 lag der Stickstoffüberschuss auf landwirtschaftlichen Flächen im Schnitt bei 40,9 kg N/ha, im Jahr 2014 bei 26,3 kg N/ha. Stickstoffeinträge finden neben der Düngung, durch das Saatgut und die Stickstofffixierung durch die Pflanzen statt. Der Austrag erfolgt hauptsächlich durch die Ernte der Marktfrucht oder natürliche Prozesse wie Auswaschung oder Ausgasung.

Der wesentliche Treiber der Umweltauswirkungen in der Landwirtschaft liegt laut Prechsl et al. (2017) beim Einsatz von Stickstoffdünger. Die Verbesserung der Stickstoffeffizienz und des Stickstoffmanagements sind wichtige Stellschrauben um die Landwirtschaft nachhaltig zu gestalten. Gründüngung mittels Zwischenfruchtanbau kann eine wichtige Rolle bei diesen Stellschrauben spielen, indem Stickstoff zur auswaschungsgefährdeten Zeit aufgenommen wird und danach als Stickstofflieferant der Hauptfrucht zu Verfügung steht. Da Gründüngung nicht nur für das Stickstoffmanagement wichtig ist, sondern viele weitere positive Effekte auf das Agrarökosystem haben kann, ist es ratsam, eine Kombination von Zwischenfrüchten zu wählen, um diese Funktionen abzudecken (Prechsl et al., 2017).

Um die Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels umweltfreundlicher zu gestalten, ist es wichtig, die Wechselwirkungen der Umwelt mit der Agrarlandschaft zu analysieren. Besonders das Stickstoffmanagement sollte dabei im Fokus stehen, da Stickstoff als klimaschädliches Lachgas oder als Nitrat die Umwelt stark belastet. Damit regional- bzw. betriebsspezifische Verbesserungsvorschläge gemacht werden können, müssen die jeweiligen Charakteristika und Schwachstellen ermittelt werden. Die Kombination von Agrarsimulationsmodellen mit der Ökobilanzierung soll dazu dienen, die größten Umweltbelastungen aufzuzeigen.

## 2 Stand des Wissens

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche aufgeführt. Es werden die möglichen Vor- und Nachteile eines Zwischenfruchtanbaus aufgezeigt und der Stickstoffkreislauf in der Landwirtschaft erklärt. Des Weiteren beschäftigt sich dieses Kapitel mit der Gründüngung bzw. der Integration von Stickstoffmodellen in die Ökobilanzierung.

### 2.1 Zwischenfruchtanbau

Gründüngung wird als Ersatz oder als zusätzliche Maßnahme zur konventionellen Düngung verwendet. Sie besteht aus organischer Biomasse, die vor der Aussaat der nächsten Feldfrucht in den Boden eingearbeitet wird. Gründüngung wird nach Kahnt (1983, S.9) wie folgt definiert: *„Gründüngung ist also die Einarbeitung noch nicht abgestorbener, grüner, wasserreicher, mit Zucker, Stärke, Eiweiß und Stickstoff angereicherter, zum Teil noch wenig verholzter Pflanzen in den Boden, bzw. die Abtötung von zum Zeitpunkt der Bodenbearbeitung noch lebender Pflanzenwurzeln.“*

Die Gründüngung, als umweltschonende Maßnahme um häufig auftretenden landwirtschaftlichen Problemen vorzubeugen oder zu bekämpfen, kann in unterschiedlicher Form angewendet werden. Mögliche Anwendungen sind Zwischenfruchtanbau, Rotations- und Dauerbrache sowie Untersaat, wobei der Zwischenfruchtanbau die wichtigste Gründüngungsform darstellt. Hierbei werden die Zwischenfrüchte zwischen der Wachstumsperiode zweier Hauptfrüchte angebaut (Hampl, 1996).

Zwischenfrüchte werden angebaut um Brachflächen zu vermeiden bzw. um die Bodengesundheit zu fördern. Es gibt eine Vielzahl an Zielen, die durch den Anbau von Zwischenfrüchten erreicht werden sollen. Die Wirkung auf das Ökosystem und die Nachfrucht kann je nach Art der Zwischenfrucht sehr unterschiedlich ausfallen. Wesentliche Ziele des Zwischenfruchtanbaus sind (Florentin, 2011):

- Bodenbedeckung gewährleisten, um Evaporation zu steigern und zu hohe Bodentemperaturen zu verhindern
- Bodenerosion vermeiden
- Verunkrautung verhindern
- passive Krankheits- und Schädlingsbekämpfung

- Bodenstruktur verbessern und Durchwurzelung fördern (Unterbodenlockerung, biologische Bodenbearbeitung)
- Biomasse in den Boden bringen für den Humusaufbau, die Zufuhr und das Recycling von Nährstoffen oder als Futter für Mikroorganismen

Werden die angeführten Ziele durch ein angepasstes Management erreicht, kann dies zu diversen Vorteilen führen. Aus ökonomischer Sicht können durch geringeren Pestizid- und Düngereinsatz bzw. verminderten Maschineneinsatz Kosten reduziert und durch die Steigerung der Ertragshöhe und der Qualität höhere Gewinne erzielt werden. Für den Boden geht die Verwendung von Zwischenfrüchten meist mit dem Erhalt oder der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und einer Verbesserung der Nährstoffbalance durch Humusaufbau sowie dem Erhalt eines ausgeglichenen Stickstoffkreislaufs einher (Rosa-Schleich et al., 2019).

Voraussetzungen für das Gelingen der Gründüngung sind der rechtzeitige Anbau der Zwischenfrüchte, um ein ausreichendes Biomassewachstum zu garantieren, sowie genaue Kenntnisse zum Standort und über die Wirkung der Zwischenfruchtarten. Die Verwendung von Zwischenfrüchten ist vor allem sinnvoll, wenn deren Anbau wenig Bodenbearbeitung und Inputmaterial benötigt. Die Anforderungen an die Zwischenfrucht beinhalten schnelles Wachstum mit hohem ober- und unterirdischen Biomassezuwachs sowie gute Bodenbedeckung und langsame Zersetzung der Trockenmasse (Piegholdt et al., 2014).

Bei fehlerhafter Anwendung der Gründüngung kann es zu einer Umkehr der positiven Effekte kommen. Mögliche negative Wirkungen können sein (Kahnt, 1983):

- Überproduktion an Stickstoff → Auswaschung in das Grundwasser
- Abbau organischer Substanz → Gewässereutrophierung durch Phosphor
- Humusabbau bei intensiver Bodenbearbeitung
- Wasserkonkurrenz zur Hauptfrucht in Trockengebieten
- Vermehrung von Krankheiten oder Schädlingen bei falscher Artenwahl

## 2.2 Der Stickstoffkreislauf

Einer der wichtigsten Parameter bei der Betrachtung landwirtschaftlicher Systeme ist die Verfügbarkeit des Nährstoffs Stickstoff, der auf das Pflanzenwachstum einen großen Einfluss hat. Andererseits kann ein Überschuss an mineralisiertem Stickstoff zu Emissionen wie Luftstickstoff, Stickoxide, Lachgas, Ammoniak oder Nitrat führen, wobei nur Luftstickstoff keine negativen Umweltauswirkungen hat (FAO,2011).

Abbildung 1 zeigt den Stickstoffkreislauf im Ackerbau. Der Stickstoff wird durch mikrobiologische Zersetzung von Biomasse sowie durch Fixierung von Luftstickstoff in den Boden eingetragen. Er liegt im Boden zu 90-95% in organisch-gebundener also nicht pflanzenverfügbarer Form vor. Organische Substanzen wie Mikroorganismen, Huminstoffe oder Vegetationsrückstände stellen den Stickstoffvorrat dar und können durch Mobilisierung in pflanzenverfügbare Formen umgewandelt werden. Die Mobilisierung findet mittels Mineralisierung durch Mikroorganismen statt, wobei der organische Stickstoff zu Ammonium umgewandelt wird. Die Mineralisationsrate liegt im Jahr bei 1-5 % des organischen Stickstoffs, was bei Mineralböden eine Menge von 40-120 kg N/ha bedeuten kann. Der mineralische Stickstoff ist leicht löslich und für die Pflanzen verfügbar. Mit der guten Löslichkeit geht jedoch auch die Gefahr der Auswaschung einher (Georges, 2003).

Im nächsten Schritt, der Nitrifikation, wird Ammonium durch aerob lebende Bakterien oxidiert. In der ersten Teilreaktion wird Ammonium durch Bakterien der Gattung Nitrosomonas zu Nitrit umgewandelt. Bei der zweiten Teilreaktion oxidieren Nitrobacter Nitrit zu Nitrat. Die Umwandlung beinhaltet folgende Schritte:  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ . Bei der Denitrifikation kommt es zur Freisetzung von molekularem Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Lachgas, indem Mikroorganismen bei Sauerstoffmangel  $\text{NO}_2^-$  oder  $\text{NO}_3^-$  reduzieren. Die Reduktion von Nitrat verläuft wie in folgender Gleichung ersichtlich:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$  (Szyska, 2009).

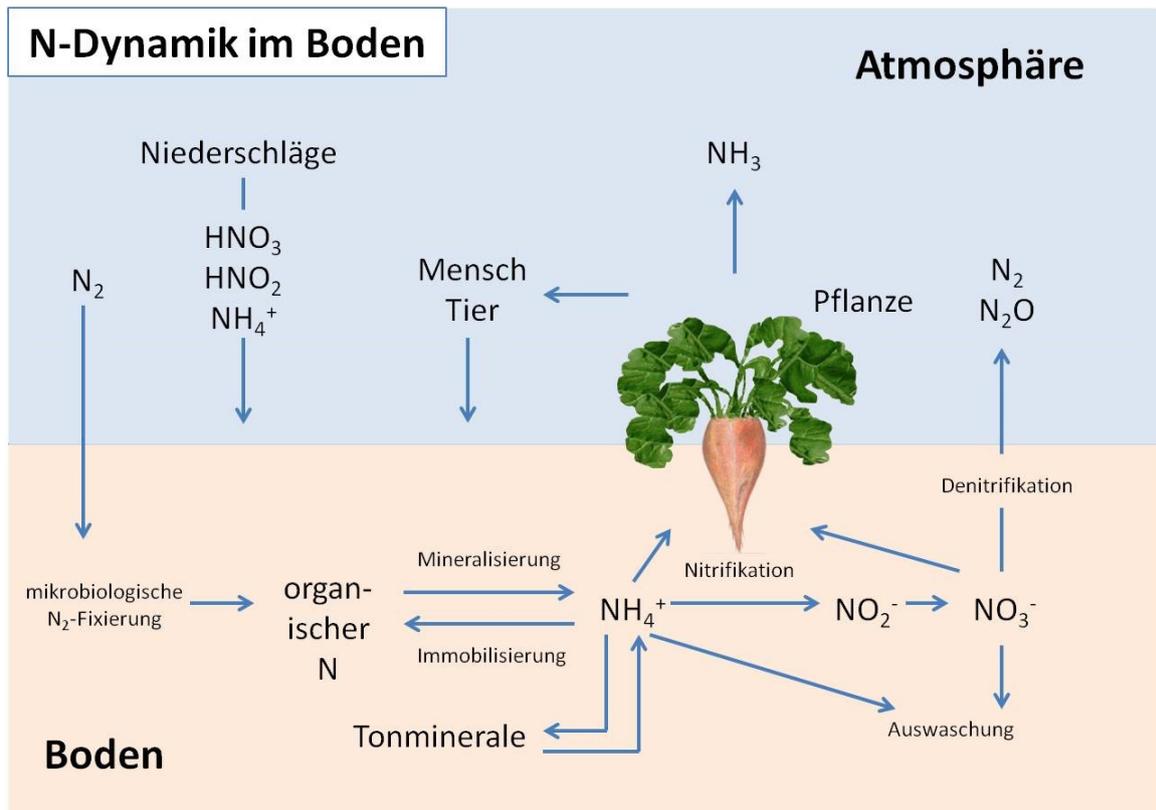


Abbildung 1 Stickstoffdynamik im Ackerbau (BISZ, 2018)

Die Höhe der Mineralisationsrate hängt von der Zusammensetzung des organischen Materials, von den Witterungsbedingungen und der angebauten Feldfrucht ab. Weiters spielen Charakteristika des Bodens wie Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Wassergehalt und Zusammensetzung der Mikroflora eine Rolle. Generell wird der Stickstoff schneller mineralisiert, je höher die Temperatur bzw. je enger das C/N-Verhältnis der organischen Substanz (Biomasse oder Mikroflora) ist (Georges, 2003). Sowohl für die Nitrifikation als auch für die Denitrifikation ist ein pH-Wert von 6-8 optimal. Zur Denitrifikation kommt es durch anaerobe Verhältnisse. Diese werden durch einen hohen Wassergehalt im Boden (über 60 % wassergefülltes Porenvolumen) bzw. durch Bodenverdichtung begünstigt. Weiters reduzieren Mikroorganismen durch eine erhöhte Zersetzungsrate von organischem Material den Sauerstoffgehalt im Boden (Szyska, 2009).

Wenn mehr Stickstoff in mineralisierter Form vorhanden ist, als von der Vegetation gebraucht wird, kann es zu dessen Verlagerung in tiefere Bodenschichten bzw. zu dessen Auswaschung kommen. Die Stickstoffauswaschung ist ein großes Problem in der Landwirtschaft, da sie direkten Einfluss auf das Trinkwasser und die Eutrophierung von Gewässern haben kann. Weiters können indirekt Emissionen wie Stickoxide oder

Ammoniak entstehen. Verursacht wird diese Problematik vor allem durch übermäßiges Düngen landwirtschaftlicher Flächen, aber auch die klimatischen Verhältnisse und die Bodenstruktur spielen eine Rolle. In der Landwirtschaft können die Stickstoffverluste durch Auswaschung zwischen 10% und 30% des eingetragenen Stickstoffs betragen (Plaza-Bonilla et al., 2015). Die Europäische Union möchte durch Verordnungen und gezielte Förderungen dieser Problematik entgegenwirken. Es wurde die „Richtlinie zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Stickstoff aus landwirtschaftlichen Quellen“ erlassen (EU, 1991). Auf nationaler Ebene gibt es in Österreich verschiedene ÖPUL Programme, die auf die Förderung des Zwischenfruchtanbaus abzielen (ÖPUL, 2015 a&b). In Österreich ist die Begrünung vor allem in Gebieten mit erhöhten Nitratkonzentrationen im Grundwasser eine wichtige Maßnahme, da diese um bis zu 25% reduziert werden können. Je nach Biomasseaufwuchs bzw. je nach Pflanzenart beträgt die Stickstoffaufnahme zwischen 20 und 150 kg N/ha. Generell gilt, je tiefer die Durchwurzelung, desto besser kann Nitratauswaschung verhindert werden, da die Zwischenfrucht die Sickerwassermenge reduziert (Bodner, 2017).

Folgende Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen des Anbaus von Zwischenfrüchten auf den Stickstoffhaushalt.

In einer Langzeitstudie von Constantin et al. (2011) wurden die Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf die Nitratauswaschung, Stickstoffmineralisation und die Stickstoffaufnahme der Hauptfrucht beobachtet. Das Ziel der Integration von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge war hierbei vor allem die Nitratauswaschung zu verhindern, um das Grundwasser nicht zu belasten. Unter anderem wurden die Effekte von Ölrettich als Zwischenfrucht betrachtet. Dabei wurde festgestellt, dass der durchschnittliche Stickstoffgehalt von Ölrettichrückständen 36 kg/ha/Jahr und das C/N-Verhältnis 17 betrug. Während des 13 bis 17-jährigen Versuchs stieg durch den Ölrettichanbau die jährliche Mineralisation auf 18 kg N/ha/Jahr. Am Ende des Experiments machte die kumulierte zusätzliche N-Zufuhr 60% der totalen Stickstoffzufuhr aus. Durch die regelmäßige Verwendung von Zwischenfrüchten wurde auch eine erhöhte Stickstoffaufnahme bzw. eine gesteigerte Effizienz im Stickstoffverbrauch der Folgepflanzen beobachtet. Die Fähigkeit Nitratauswaschung zu verhindern war in allen Jahren beständig. Die durchschnittliche Stickstoffaufnahme (in Aufwuchs und Wurzeln) lag bei 35 kg/ha/Jahr. Weiters wurde festgestellt, dass Ölrettich die Stickstoffaufnahme der Hauptkultur um 2,4 bis 4,3 kg N/ha/Jahr steigerte.

Der Einfluss des fortlaufenden Anbaus von Zwischenfrüchten kann nur in einer mehrjährigen Fruchtfolge erfasst werden, da der Stickstoffinput nicht vollständig im ersten Jahr mineralisiert wird.

Die Studie von Büchi et al. (2015) weist darauf hin, dass der Input von Stickstoff durch Leguminosen Unkrautwachstum, Nitratauswaschung und Denitrifikation fördern kann. Ob die Auswirkungen von deren Einsatz positiv oder negativ sind, hängt zum einen von den speziesspezifischen Eigenschaften wie Wachstumsraten, Stickstoffaufnahme und symbiotische Verbindungen und zum anderen von externen Faktoren wie Aussattermin, bodenklimatische Bedingungen und dem Bodentyp ab. Die Menge an akkumuliertem Stickstoff ist ein Schlüsselfaktor für die Integration von Leguminosen in die Fruchtfolge. Die Menge an durch biologische Fixierung gespeicherten Stickstoff in der Pflanze variiert sehr stark und kann zwischen 5 und 97% betragen. Die Stickstofffixierung wird von der Bodenfruchtbarkeit, der Bodenbearbeitung, dem Klima und den Düngermengen beeinflusst (Büchi et al., 2015). All diese Faktoren beeinflussen die Wachstumsleistung der Zwischenfrüchte während ihrer Vegetationsperiode. Je besser die Wahl der Leguminose auf die äußeren Bedingungen abgestimmt ist, desto schneller deren Wachstum bzw. höher die Stickstofffixierungsleistung (Kolbe et al., 2004). Wie viel Stickstoff fixiert wird, hängt bei den Leguminosen zu einem großen Teil von der Entwicklung der Rhizobien (Knöllchenbakterien) mit denen sie eine Symbiose eingehen ab. Positiv auf die Fixierungsleistung wirkt sich ein kleines inneres Porenvolumen des Bodenaggregates und Wasserüberschuss aus, da es zu vermehrter Knöllchenbildung durch die Rhizobien kommt. Die optimale Bodentemperatur für die N<sub>2</sub>-Fixierung liegt bei vielen Leguminosen- Rhizobiensymbiosen, z.B. bei der Sojabohne oder Erbse, zwischen 25 und 40°C. Bei einem pH- Wert unter 4,5 wird das Rhizobienwachstum gehemmt, wodurch auch die Stickstofffixierung zum Erliegen kommt. Stehen die Pflanzen bzw. die Rhizobien durch Trockenheit oder hohem Salzgehalt im Boden unter Stress wird die Fixierung reduziert. Befindet sich viel pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden, sinkt die Fixierungsrate, da die Pflanze ihren Bedarf aus dem Bodenvorrat deckt (Mohammadi et al., 2012). Auch die Verfügbarkeit anderer Nährstoffe spielt eine Rolle. So blockiert ein Mangel an Schwefel den Stickstoffkreislauf der Pflanze und sowohl die Anzahl an Knöllchen als auch die Fixierleistung gehen zurück. Auch muss Phosphor in ausreichenden Mengen vorhanden sein, um eine effiziente Stickstoffbindung zu gewährleisten. Weiters konnte beobachtet werden, dass durch

eine reduzierte Bodenbearbeitung weniger Mineralisation stattfindet, wodurch die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung zunimmt. Je länger die Vegetationsdauer und je mehr Blattmasse gebildet wird, desto mehr Stickstoff wird fixiert. Die Fixierungsrate hat ihr Maximum meistens bei Blühbeginn (Gollner, s.a.).

Plaza-Bonilla et al. (2015) beschäftigten sich mit der Beziehung von Zwischenfrüchten und Körnerleguminosen und mit deren Effekten auf die Stickstoffauswaschung und das Stickstoffrecycling für die nachfolgende Kulturpflanze. Dies ist besonders interessant, da in dem Feldversuch dieser Arbeit ebenfalls Zwischenfrüchte in Kombination mit einer Leguminose, nämlich Soja, untersucht werden. Die Forscher der Studie stellten in einem 6-jährigen Experiment fest, dass die Verwendung von Zwischenfrüchten die Stickstoffauswaschung im Vergleich zu Systemen mit Brache verringert. Indessen stieg bei einem vermehrten Anbau von Körnerleguminosen ohne Zwischenfrüchten die Auswaschung bzw. die Konzentration von Stickstoff im Wasserabfluss an. Weiters wurde beobachtet, dass der Wasserabfluss bei der Fruchtfolge mit Zwischenfrüchten (Erbsen, Senf und eine Erbsen-Hafer Mischung) geringer war als bei Fruchtfolgen mit Brache. Die Aufnahme von Stickstoff durch die Hauptkulturfrucht zeigte jedoch keine Veränderung in den unterschiedlichen Rotationen, egal, ob diese Zwischenfrüchte beinhalteten oder nicht. Körnerleguminosen in einer Fruchtfolge führen wegen ihrer biochemischen Zusammensetzung zu Änderungen im Stickstoffkreislauf. Dies ist auf ihre Fähigkeit atmosphärischen Stickstoff zu binden, ihre Wurzeigenschaften und Erntemengen bzw. auf den größeren Umsatz an Pflanzenrückständen zurückzuführen. Sie haben ein geringes C/N-Verhältnis und können so nicht nur mineralischen Stickstoff im Boden verfügbar machen, sondern beschleunigen auch die Zersetzung organischen Bodenmaterials. Beide Prozesse können dazu führen, dass Stickstoff akkumuliert wird und die Gefahr besteht, dass dieser ausgewaschen wird. Des Weiteren entziehen sie weniger Stickstoff aus tiefen Bodenschichten, was auch zur Auswaschung führen kann. Wenn man Körnerleguminosen mit Zwischenfrüchten kombiniert, kann Auswaschung vermindert und Stickstoff recycelt werden. In dieser Studie konnten je nach Fruchtfolge 30- 66 % der Auswaschung reduziert werden. Fruchtfolgen, die auf Körnerleguminosen basieren, brauchen eine gute Balance zwischen der Menge an verfügbarem Stickstoff nach der Ernte und den Anforderungen der nachfolgenden

Feldfrucht, um vermehrte Stickstoffauswaschung bzw. Stickoxidemissionen zu verhindern (Plaza- Bonilla et al., 2015).

### **2.3 Gründüngung in der Ökobilanzierung**

Besonders wenn Zwischenfrüchte als Gründüngung in der Fruchtfolge integriert sind, wird es schwierig, den unterschiedlichen Komponenten in einem landwirtschaftlichen System Wirkungen zuzuordnen. Es stellt sich die Frage, wie die Umweltauswirkungen der Gründüngung auf die Hauptkulturen aufgeteilt werden können. Die Allokation der Umweltauswirkungen kann über biophysikalische Beziehungen, wie die Stickstoffverfügbarkeit durch Pflanzenrückstände, oder den ökonomischen Wert der Feldfrüchte vorgenommen werden. Ein anderer Zugang ist, dass der Effekt der Gründüngung als Effekt auf das ganze System zu bewerten ist und sich die Allokation auf die verbrauchte Produktionsfläche und nicht auf eine bestimmte Kultur bezieht (FAO, 2011).

Es gibt einige Studien, in denen die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus mittels LCA beurteilt wurden. In einer Untersuchung von Prechsl et al. (2017) wurden die Zwischenfrüchte Senf, Erbse und Mischungen verwendet und ihre Umweltauswirkungen in verschiedensten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsstrategien untersucht. In dieser Studie hatte die Kultivierung von Gründüngung keinen signifikanten Einfluss auf das Treibhauspotenzial bzw. leicht höhere Werte im Vergleich zur Brache, was auf die zusätzlichen  $N_2O$ -Emissionen durch die Pflanzenrückstände und den zusätzlichen Energieverbrauch für Aussaat und Mulchen zurückzuführen ist.  $CO_2$  und  $NO_2$  waren dabei die größten Verursacher des Treibhauspotenzials. Die Gewässereutrophierung, die hier hauptsächlich durch die Nitratauswaschung und die Produktion von Saatgut verursacht wurde, konnte durch die Verwendung von Zwischenfrüchten reduziert werden, da diese Stickstoff in auswaschungsgefährdeten Monaten aufnehmen. Signifikant war dieser Effekt bei der Erbse. Einen positiven Effekt hatte die Gründüngung auf die Biodiversität durch die Funktion als Versteck und Nahrungsquelle für Indikatorspezies wie Spinnen, Vögel oder Schmetterlinge. Sowohl auf die terrestrische Eutrophierung als auch auf die Gewässertoxizität hatten die Zwischenfrüchte keinen Einfluss.

Goglio et al. (2014) untersuchten mittels LCA und CERES-EGC Model, wie in der Landwirtschaft Treibhausgase eingespart werden können. Dafür wurden Senf und Leguminosen als Zwischenfrüchte verwendet. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass

durch den Einsatz von Zwischenfrüchten im Vergleich zu der Fruchtfolge ohne Zwischenfrüchte über den Winter 10-20% an Ammoniak und Nitratverlusten eingespart werden konnten, da durch die Stickstoffaufnahme der Zwischenfrüchte die Ansammlung von Nitrat und Ammoniak an der Bodenoberfläche verhindert wird.

In der Studie von Hayer et al. (2011) wurden die Umweltauswirkungen des Einsatzes von Zwischenfruchtkulturen für die Biogaserzeugung beleuchtet. Betrachtet wurden in dieser Ökobilanzierung die Gründüngungskulturen Senf und Phacelia, verschiedene Sommer- und Winterzwischenkulturen in den Varianten mit und ohne Dünger sowie unterschiedliche Anzahlen der Nutzung und der Düngerarten. In dem Versuch betrug die Anbaudauer der Gründüngung 3-4 Monate, nach der Aussaat im August oder September. Im Ergebnis der Studie wird sichtbar, dass der Anbau von Gründüngung ohne Düngereinsatz die Eutrophierung im Vergleich zur Brache um ca. 23 kg N-äq./ha reduziert. Die Verluste vor dem Winter sanken je nach Gründüngungskultur (Senf oder Phacelia) und Saatzeitpunkt um 29-34 kg NO<sub>3</sub>-N, wobei hierbei mit Mineraldünger gedüngt wurde. Bei den Varianten, die nicht gedüngt wurden, kam es zu noch größeren Reduktionspotentialen. Dies ist der Fall, da mehr Stickstoff mineralisiert wird, wenn dem Boden mehr organische Biomasse zur Verfügung steht. Je früher die Gründüngungskultur gesät wurde, desto geringer war der Verlust an Nitrat. Die Gründüngung verursachte einen Bedarf an nicht-erneuerbaren Energien von ca. 2800-3300 MJ-äq./ha, betrachtet für den Anbauzeitraum von 290 Tagen (ab Aussaat der Zwischenfrucht bis zur Aussaat der Hauptfrucht). Dies wird vor allem durch die Bodenbearbeitung verursacht. Es wurden im Durchschnitt 530 kg CO<sub>2</sub>-äq. Treibhausgasemissionen freigesetzt, wobei sich diese vor allem aus N<sub>2</sub>O aus Feldemissionen sowie CO<sub>2</sub> aus dem Einsatz von fossilen Energieträgern zusammensetzen. Die Lachgasverluste werden durch den Verbleib des Aufwuchses auf dem Feld oder durch den Nitratverlust induziert. Versauernde Emissionen entstehen vor allem durch Feldemissionen (NH<sub>3</sub>) und bei Bodenbearbeitungsprozessen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>). Zum Ozonbildungspotential tragen maßgeblich Stickoxide bei, deren Anteil im Durchschnitt bei 89 % liegt. Weitere Verursacher des Ozonbildungspotenzials sind Kohlenmonoxid-, Methan- und NMVOC-Emissionen. Diese Emissionen entstehen vor allem durch Feldarbeiten, gefolgt von den direkten Feldemissionen sowie Emissionen aus der Düngerherstellung und -ausbringung.

## 2.4 Stickstoffmodelle in der Ökobilanzierung

Für das Identifizieren des bestmöglichen Managements im landwirtschaftlichen Betrieb, ist es wichtig, die Interaktionen zwischen den Kulturpflanzen, dem Boden und der Atmosphäre zu analysieren. Durch das Modellieren landwirtschaftlicher Systeme können diese verstanden und deren Effizienz sowie die aus der Bewirtschaftung folgenden Auswirkungen abgeschätzt werden. Es gibt verschiedenste Agrarökosystemmodelle, die in die Gruppen Agrarökonomie, Klimatologie, Umwelt und Umwelt-Agrarökonomie eingeteilt werden können. Die agrarökonomischen Modelle legen ihren Fokus auf die Beobachtung der Phänologie der Pflanzen und zielen darauf ab, durch die effizienteste Betriebsweise höhere Erträge zu erlangen. Sie schließen meist die Betrachtung von bodenchemischen Reaktionen und Bodenemissionen aus. Die klimatologischen Modelle stellen die Beziehung zwischen verschiedenen klimatischen Faktoren dar, um die Dynamik der Klimaphänomene zu verstehen und Voraussagen treffen zu können. Die Umweltmodelle behandeln die Nährstoffdynamiken in der Erde und deren Prozesse wie Nitrifikation, Denitrifikation oder Zersetzung von Biomasse. Die Umwelt-Agrarökonomiemodelle kombinieren die meisten der genannten Faktoren, um sowohl die Prozesse des Pflanzenwachstums als auch die der Bodenbiochemie abzubilden (Tabatabaie et al., 2018).

Die Integration von Agrarökosystemmodellen in die Praxis der Ökobilanzierung ist nicht weit verbreitet. Dies liegt daran, dass es meist zeitintensiv und komplex ist, die beiden Modelle zu verbinden, da man die Ergebnisse der zuerst durchgeführten Simulation exportieren und für die Ökobilanzsoftware aufbereiten muss. Integrierte Modelle sind noch nicht sehr geläufig oder frei verfügbar. Diese wären jedoch eine gute Möglichkeit, verschiedene Modelle und Inputdaten von verschiedensten Quellen zu verbinden. Tabatabaie et al. (2018) verwenden die Hilfsplattform ENVISION, die die Ergebnisse und Analysen des Stickstoffmodells DNDC und einer LCA automatisch verbinden kann. Dadurch können auch größere landwirtschaftliche Gebiete mit einer Ökobilanzierung leicht simuliert werden und Unsicherheiten der LCA- Ergebnisse durch das gut kalibrierte Agrarmodell vermindert werden.

Bessou et al. sehen die Verwendung eines Agrarökosystemmodells als wichtiges Instrument, um lokale Faktoren wie Bodenverhältnisse, Klima und Betriebsweise in eine Ökobilanz einfließen zu lassen und somit exaktere Ergebnisse zu generieren. Sie haben eine LCA mit der Verwendung des prozessbasierten CERES-EGC Modells

verbunden, um die Erträge und Stickstoffemissionen des Zuckerrübenanbaus für die Bioethanolherstellung abzuschätzen. Dabei wurden sechs verschiedene Klima- und Bewirtschaftungsszenarien miteinander verglichen. Die Studie zeigte, dass die lokalen Produktionsbedingungen deutlichen Einfluss auf die Stickstoffemissionen und somit auch auf die Endergebnisse der LCA nehmen und es deshalb besonders wichtig ist, diese durch ein Agrarsimulationsmodell abzubilden. In Hinblick auf trockenes Klima, wie es z.B. in Groß-Enzersdorf vorherrscht, konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass es in den trockenen Jahren mit Niederschlägen zwischen 400 und 580 mm zu geringeren Feldemissionen und Reduktionen bei der Eutrophierung, der Versauerung und des globalen Treibhauspotenzials kam. Vor allem die Stickstoffauswaschung war achtmal so gering im Vergleich zu den anderen, feuchteren Klimaszenarien. Durch die Einführung der Zwischenfrucht Senf in die Fruchtfolge wurde die Auswaschung von Stickstoff um mehr als 50 % gesenkt.

Auch in der Studie von Liao et al. (2015) ging es darum, einen Weg zu finden, die Besonderheiten des Ackerbaus in der LCA zu berücksichtigen. Dabei wurde das neue TNT2 (topography-based simulation of nitrogen transfer and transformation) Modell angewendet, um vor allem die Nitratflüsse zwischen den Feldern zu betrachten. Durch den Einsatz des Modells kam es zu einer deutlich verbesserten Einschätzung des Eutrophierungspotenzials in der Ökobilanz im Vergleich zu statischen Modellen und Datenbanken.

### 3 Zielsetzung

Diese Arbeit verfolgt folgendes Hauptziel:

Die Integration des Agrarsimulationsmodells DNDC (DeNitrification DeComposition) in die Ökobilanzierung für die Berechnung regionalisierter Ergebnisse

Folgende Unterziele werden untersucht:

1. Ökologische Bewertung von ausgewählten Zwischenfrüchten in einer beispielhaften Fruchtfolge mittels Ökobilanzierung anhand ausgewählter Wirkungskategorien und der Vergleich der Zwischenfruchtsysteme mit der einer Brache
2. Identifizierung und Analyse der Hauptbeiträge zu den Umweltwirkungen
3. Sensitivitätsanalysen und Aufzeigen möglicher Optimierungsmaßnahmen

## **4 Material und Methode**

In diesem Kapitel werden die verwendeten Daten und Methoden dargestellt. Im Besonderen wird die Methode der Ökobilanzierung, das Stickstoffmodell und der Feldversuch beschrieben. Die verwendeten Daten setzen sich aus den empirisch erhobenen Daten der ackerbaulichen Versuchsflächen, den gesammelten Daten aus der Literatur und Daten aus der Datenbank ecoinvent zusammen.

### **4.1 Grundlagen der Ökobilanzierung**

In dieser Arbeit werden die Umweltauswirkungen des Anbaus von Zwischenfrüchten betrachtet und im Vergleich zur Brache gestellt. Es wird beurteilt, ob die positiven Auswirkungen einer Gründüngung den Mehraufwand in der Bewirtschaftung rechtfertigen. Für die Beurteilung dessen wird die Methode der Ökobilanzierung herangezogen. Sie ist in der ISO EN 14040 (2006) und ISO EN 14044 (2006) verankert und wird als eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltauswirkungen definiert. Die Ökobilanz betrachtet den ganzen Lebenszyklus eines Produkts, wodurch die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Wiege bis zur Bahre („cradle to grave“), also von der Rohstoffentnahme bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle erfasst und beurteilt werden (Klöpffer; Grahl, 2009).

Die Methodik weist 4 Schritte auf, die in Abbildung 2 dargestellt werden.

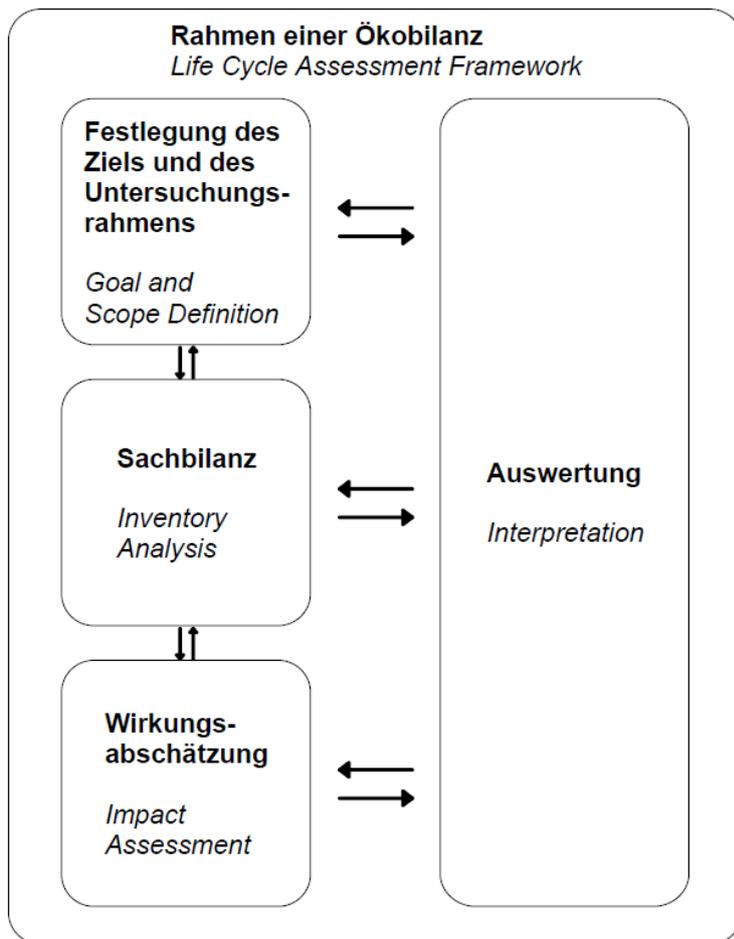


Abbildung 2 Ablauf der Ökobilanz (Frischknecht, 2013)

Der erste Schritt umfasst die Zieldefinition und die Festlegung des Untersuchungsrahmens. In diesem werden die Systemgrenze, die funktionelle Einheit und die wichtigsten Prozesse beschrieben. Weiters müssen die betrachteten Umweltaspekte mit deren dazugehörigen Wirkungskategorien definiert werden. Im zweiten Schritt, der sogenannten Sachbilanz, werden alle Inputs und Outputs erfasst und in Bezug zum Untersuchungsgegenstand bzw. zur funktionellen Einheit gestellt. Im dritten Schritt werden die Ergebnisse der Sachbilanz klassifiziert, indem sie den Umweltauswirkungen zugeordnet werden. Bei der Charakterisierung werden alle Substanzen mit gleicher Umweltwirkung zusammengefasst. Dies erfolgt durch eine Referenzsubstanz, anhand derer die Stärke der Wirkung der andern Substanzen festgestellt wird. Der letzte Schritt umfasst die Auswertung der Ergebnisse bzw. die Identifizierung der signifikanten Umweltprobleme. Danach können Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert werden (Frischknecht, 2013).

In dieser Arbeit werden zwei funktionelle Einheiten verwendet, je nach betrachtetem System. Die funktionelle Einheit für die Zwischenfruchtsysteme ist 1 ha. Die funktionelle Einheit für das gesamte System mit dem Endprodukt Soja ist 1kg TM Soja.

Die Systemgrenze wird bei der Feldgrenze gezogen und endet mit der Ernte des Sojas. Betrachtet werden alle notwendigen Prozesse für dessen Anbau. Abbildung 3 zeigt das Systemfließbild mit allen wichtigen Prozessen. Die in grün geschriebenen Prozesse, Ernten und mechanische Unkrautbekämpfung, spielen nur beim Anbau von Soja eine Rolle. Alle anderen Prozesse sind sowohl für den Zwischenfruchtanbau als auch für den Sojaanbau gültig.

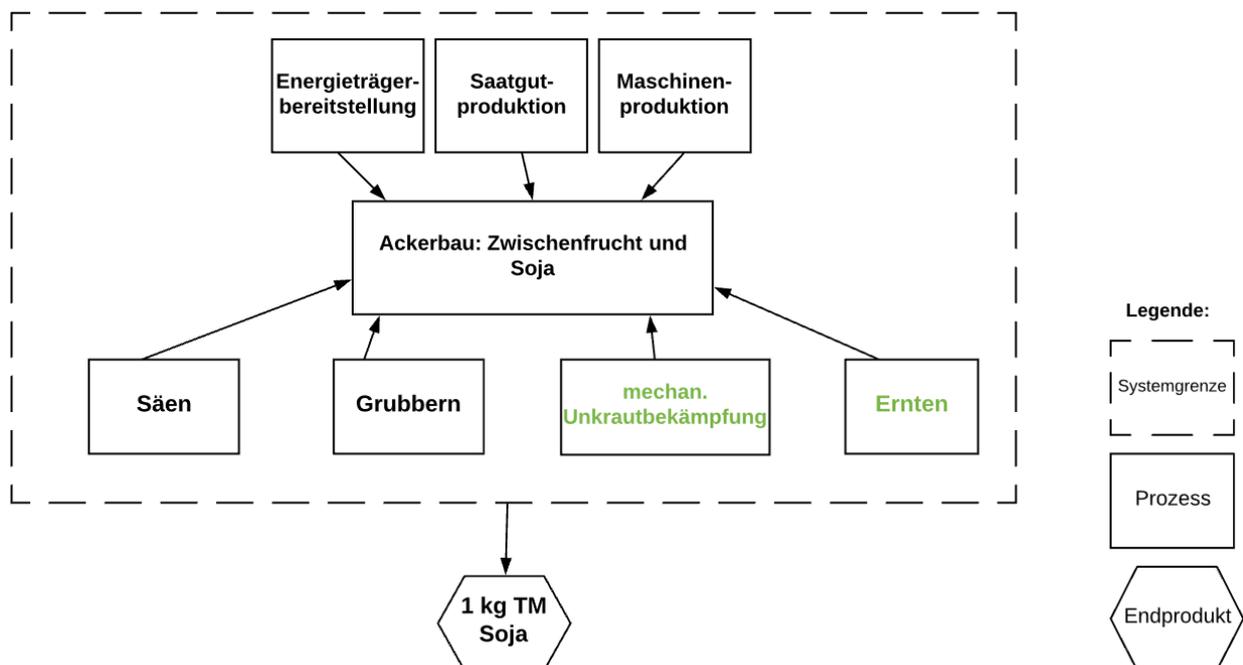


Abbildung 3 Systemfließbild des Feldversuchs inklusive funktioneller Einheit

In dieser Arbeit wird die Wirkungsabschätzungsmethode ReCiPe- Midpoint nach Huijbregts (2016) verwendet. Sie wurde den letzten Angaben nach IPCC 2013 angepasst. Die Modellierung von Midpoints beinhaltet die Umwandlung von gefährlichen Substanzen und extrahierten Ressourcen in Indikatoren der Wirkungskategorien. Im Unterschied dazu stehen die Endpoints, die die konkreten Konsequenzen der Wirkungskategorien aufzeigen, wie z.B. Schaden am Ökosystem oder der menschlichen Gesundheit, jedoch mit höheren Unsicherheiten verbunden sind (Huijbregts, 2016).

Von der Vielzahl möglicher Umweltauswirkungen liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf den folgenden Wirkungskategorien:

1. Globales Treibhauspotenzial (GWP): Die Kategorie des GWPs stellt dar, inwieweit die Umweltauswirkungen des betrachteten Prozesses zur Klimaerwärmung beitragen. Die Emissionen, die diesen Effekt im Ackerbau verursachen, sind hauptsächlich CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>. Überdies werden noch Fluorchlorkohlenwasserstoffe, Halogene oder Kohlenmonoxid zu den Verursachern gezählt. Das Treibhauspotential wird in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Das bedeutet, dass alle Treibhausgase mit der gleichen Wirkung wie CO<sub>2</sub> relativ zu dessen Wirkung ausgedrückt werden. In dieser Arbeit wird ein Zeithorizont von 100 Jahren betrachtet (Stranddorf et al., 2005).

2. Terrestrische Versauerung: Die primären Verursacher für die Versauerung von Gewässern oder Böden sind SO<sub>x</sub>-, NO<sub>x</sub>- oder NH<sub>3</sub>-Emissionen. Das Versauerungspotential wird in kg SO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben (Stranddorf et al., 2005).

3. Aquatische Eutrophierung: Als Eutrophierung wird die Anreicherung von Gewässern und Böden mit den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor bezeichnet. Die Landwirtschaft ist vor allem durch die Auswaschung von NH<sub>4</sub> und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bzw. durch die Ausgasung von NH<sub>3</sub> für diesen Effekt verantwortlich. Das Eutrophierungspotential drückt die Emissionen als Äquivalent der Referenzsubstanz Phosphor aus (Huijbregts et al., 2016).

4. Knappheit fossiler Energieträger: Der Midpoint-Indikator für diese Wirkungskategorie basiert auf dem „fossil fuel potential“ (Potenzial des fossilen Brennstoffs) und ist das Verhältnis vom Oberen Heizwert eines bestimmten Energieträgers zu dem Oberen Heizwert von Erdöl. Er wird in der Einheit kg oil-äq./Einheit des Energieträgers (kg oder m<sup>3</sup>) angegeben. Der Indikator stellt Werte für Erdöl, Erdgas, Braunkohle, Steinkohle und Torf bereit (Huijbregts et al., 2016).

5. Aquatische Ökotoxizität: Es wird zwischen akuter und chronischer aquatischer Ökotoxizität unterschieden, wobei vor allem die akute aquatische Ökotoxizität lokal auftritt. Substanzen, die die Ökotoxizität verursachen, sind Pestizide, organische Schadstoffe, Metalle und zinnorganische Verbindungen (Stranddorf et al., 2005). Die aquatische Ökotoxizität wird in kg 1,4 DCB-äq. angegeben (Huijbregts et al., 2016).

6. Humantoxizität: Die Humantoxizität umfasst eine Vielzahl von Wirkungen auf die menschliche Gesundheit, z.B. allergische Reaktionen, Schäden an Organen, kanzerogene Effekte oder Neurotoxizität. Die schädlichen Emissionen können sich in

der Luft, im Wasser oder in der Erde befinden und beinhalten Schwermetalle, Stick- und Schwefeloxide, flüchtige, schwer abbaubare oder chlorhaltige organische Verbindungen oder Feinstaub (Stranddorf et al., 2005). Wie bei der aquatischen Ökotoxizität wird die Humantoxizität in kg 1,4 DCB äq. angegeben (Huijbregts et al., 2016).

Da ein Fokus dieser Arbeit auf dem Stickstoffkreislauf liegt, wurde die Wirkungskategorie „marine Eutrophierung“ ebenfalls zur Beurteilung der Zwischenfruchtsysteme herangezogen, da ihre Wirkung in Stickstoffäquivalenten errechnet wird.

7. Marine Eutrophierung: Wie auch die aquatische Eutrophierung entsteht die marine Eutrophierung durch eine Anreicherung an Nährstoffen. Diese kann zu einem verstärkten Wachstum von Plankton, Algen und Pflanzen führen, was wiederum zu einem Sauerstoffmangel und einer Verschlechterung der Wasserqualität führen kann. Da der limitierende Faktor in Küstengewässern oftmals Stickstoff ist, wird die marine Eutrophierung in der Einheit kg  $\text{NO}_3^-$  äq. angegeben.

## **4.2 Modellierung des Stickstoffkreislaufs**

In diesem Kapitel wird auf die Datengrundlage dieser Arbeit eingegangen, indem der Feldversuch in Groß- Enzersdorf beschrieben wird. Andererseits wird die Recherchearbeit und die Auswahl eines passenden Stickstoffmodells für die Stickstoffmodellierung erläutert.

### **4.2.1 Primärdatenerhebung mittels Feldversuch**

Diese Arbeit baut auf einem Feldversuch des Departements für Nutzpflanzenwissenschaften auf. Die Flächen hierfür befinden sich auf der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf der Universität für Bodenkultur Wien. Der Standort liegt auf einer Seehöhe von 153 m in der Ebene des Marchfelds. Die Temperatur liegt im Jahresdurchschnitt bei  $9,5^\circ\text{C}$ , der durchschnittliche Niederschlag beträgt zwischen 500 und 600 mm pro Jahr, wodurch das Gebiet der gemäßigten Klimazone zugeordnet wird. Der Boden besteht aus schluffig-lehmigem Tschernosem aus Donausediment, mit einem A-C Horizont von 60 cm. Der Schluffanteil liegt im Durchschnitt bei 56 Gew.-%, der Anteil an Sand bei 20 Gew.-% und der Anteil an Ton

bei 22 Gew.-%. Das C/N-Verhältnis des Bodens beträgt 10,2. Der pH-Wert des Bodens ist mit einem Wert von ca. 8,1 neutral bis leicht alkalisch.

Die empirischen Daten für die Berechnung der Umweltauswirkungen stammen aus einem mehrjährigen Versuch, wobei in dieser Arbeit die Daten aus den Jahren 2015 und 2016 verwendet werden. Die Hauptfrucht in der angebauten Fruchtfolge ist Soja, der in Kombination mit verschiedenen Zwischenfrüchten angebaut wird. Die Zwischenfrüchte dienen als Gründüngung. Als Kontrolle dient eine Parzelle mit Brache statt Gründüngung. Die betrachteten Zwischenfrüchte sind: Ölrettich (*Raphanus sativus*), Platterbse (*Lathyrus sativus*), Sandhafer (*Avena strigosa*) und Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*). Es muss erwähnt werden, dass die Zielsetzung des Versuchs von der Zielsetzung dieser Masterarbeit abweicht. Der Versuchsaufbau, mit der Hauptfrucht Soja, ist für die Beurteilung der Zwischenfrüchte in Hinblick auf Stickstoffdynamiken im Boden und der Pflanze nicht ideal. Soja als Leguminose kann selbst Stickstoff binden und ist somit nicht auf die Wirkung der Zwischenfrüchte angewiesen.

Der Versuch wurde in Form eines randomisierten, vollständigen Blocks in dreifacher Wiederholung angelegt, d.h. jeder Block entsprach einer vollständigen Wiederholung der Hauptvariante. Die Parzellen haben eine Größe von 36 m<sup>2</sup> und bestehen aus 2 Spuren mit je 1,5 m Breite.

Ein Bild der Rotation bzw. der Arbeitsgänge wird in Abbildung 4 dargestellt. Eine Rotation erstreckt sich über 3 Jahre und beginnt mit der Aussaat der Vorfrucht im Herbst des 1. Jahres. Nach ihrer Ernte im Sommer des 2. Jahres wird zweimal gegrubbert und die Zwischenfrüchte werden angebaut. Diese verbleiben über dem Winter auf dem Feld, frieren ab und werden durch erneutes Grubbern vor der Aussaat des Sojas im April des 3. Jahres eingearbeitet. Während des Sojawachstums wird gegen Unkrautbildung mechanisch durch Blindstriegeln und zweimaliges Hacken vorgegangen. Im September erfolgt die Sojaernte und der Anbau einer Vorfrucht. Alternativ zum Anbau der Zwischenfrüchte, bleibt eine Parzelle von der Ernte der Vorfrucht bis zur Aussaat des Sojas brach liegen.

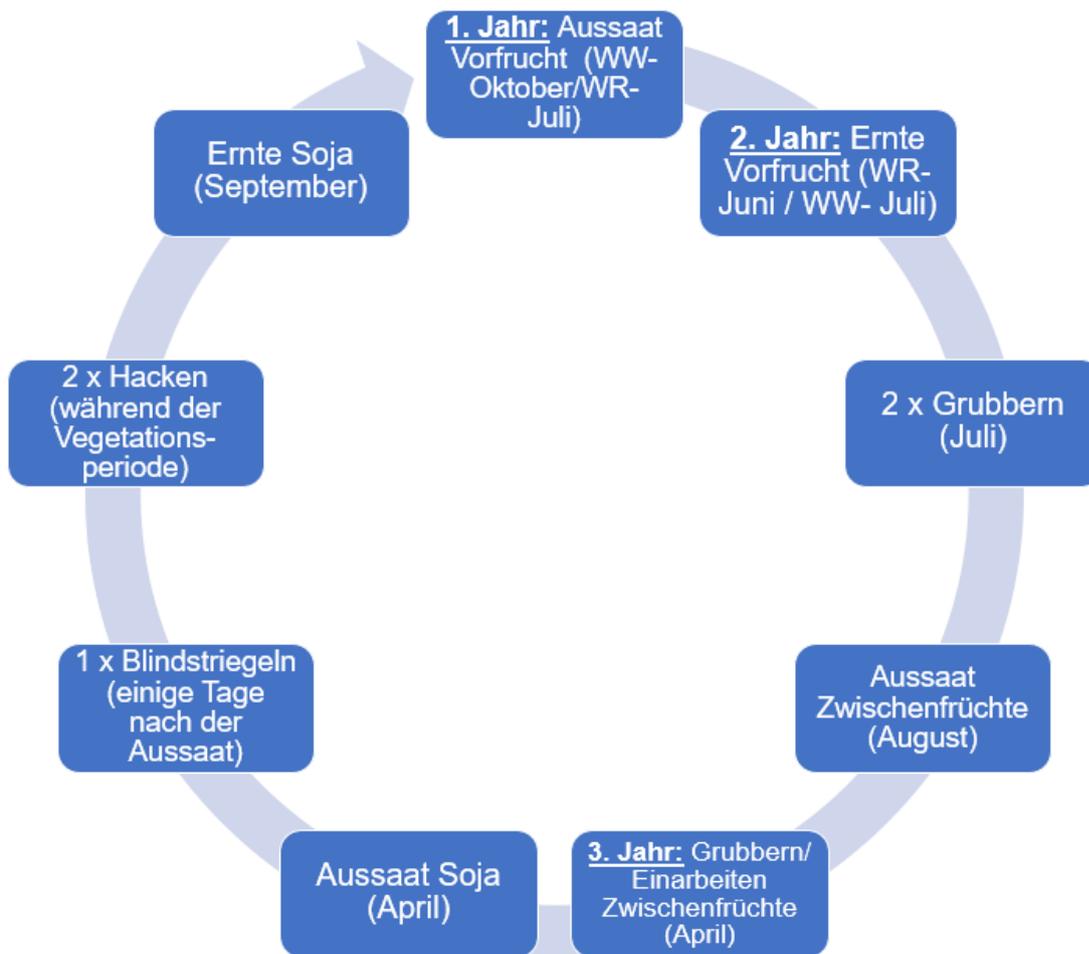


Abbildung 4 Eigene Darstellung: Rotation mit allen Feldarbeitsgängen

Der Versuch wurde auf zwei verschiedenen Flächen angelegt, weshalb sich zwei unterschiedliche Fruchtfolgen ergeben, die teilweise zeitlich parallel angebaut wurden. Aus den Abbildungen 5 und 6 kann man die zwei Fruchtfolgen entnehmen. Die 1. Fruchtfolge startet mit dem Anbau von Winterweizen als Vorfrucht im Herbst 2013 und endet mit der Ernte des Sojas im September 2015. Die 2. Fruchtfolge beginnt mit der Aussaat von Winterraps im Herbst 2014 und endet mit der Ernte des Sojas im September 2016.

1. Fruchtfolge	2013			2014							2015																	
Monat	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Aussaat				13.10.									07.08.									21.04.						
Wachstum				Vorfrucht: Winterweizen									ZF: Ölrettich, Platterbse									Hauptfrucht: Soja						
Ernte/Einarbeitung													15.07.									15.04.					15.09.	

Abbildung 5 Eigene Darstellung: Zeitliche Abfolge der ersten Fruchtfolge

2. Fruchtfolge	2014												2015												2016								
Monat	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
Aussaat	28.07.												07.08.						25.04.														
Wachstum	Vorfrucht: Winterraps												ZF: Ölrettich, Platterbse, Ramtilkraut, Brache						Hauptfrucht: Soja														
Ernte/Einarbeitung							26.06.												15.04.			15.09.											

Abbildung 6 Eigene Darstellung: Zeitliche Abfolge der zweiten Fruchtfolge

Die benötigten Arbeitsschritte wurden mit folgenden Maschinen (Datenblätter im Anhang) durchgeführt:

- Grubber: Zweibalkiger Grubber mit Flügelscharre und gehärteter Scharspitze, Modell Galaxis der Firma Kerner mit einer effektiven Arbeitsbreite von 3 m. Es wurde bis zu einer Tiefe von 10 cm gegrubbert. Gegrubbert wurde zweimal vor Anbau der Zwischenfrucht, einmal vor Anbau der Hauptfrucht und einmal vor Anbau der Vorfrucht.
- Sämaschine: Terrasem R3 der Firma Pöttinger mit einer Arbeitsbreite von 3 m. Die Saat der Vorfrucht und der Zwischenfrüchte wurde in einer Tiefe von 2-3 cm mittels Drillsaat gesät. Die Zwischenfrüchte wurden mit einem Reihenabstand von 12 cm angebaut.

Sämaschine: MS 8130 der Firma MaterMacc mit einer Arbeitsbreite von 3 m wurde für die Aussaat des Sojas mittels Einzelkornaussaat verwendet. Der Soja wurde in einem Reihenabstand von 50 cm angebaut.

- Mähdrescher: CASE IH 8010 der Firma CASE IH mit einer Arbeitsbreite von 5,2 m. Sowohl die Vorfrüchte als auch der Soja wurden damit geerntet.
- Hackstriegel: Aerostar der Firma Einböck mit 12 m Arbeitsbreite. Dieser wurde für die mechanische Unkrautbeseitigung beim Sojaanbau verwendet. Es wurde zweimal gehackt und einmal blindgestriegelt.
- Traktor: Steyr CVT für Grubbern und Drillsaat

Traktor: Steyr 9080 für die Einzelkornaussaat, Hacken und Striegeln

Um den Gehalt an mineralisiertem Stickstoff festzustellen, wurden Bodenproben bis zu 0,9 m Tiefe genommen. Die untersuchten Horizonte gliedern sich in den A Horizont von 0-30 cm, in den B Horizont von 30-60 cm und in den C Horizont von 60-90 cm. Die

Proben wurden in den Monaten April, Juli und September entnommen. So können die Stickstoffwerte nach dem Zwischenfruchtanbau, während der Vegetationsperiode des Sojas und nach der Ernte des Sojas analysiert werden. Die Probenentnahme erfolgte mit drei Wiederholungen und 4 Einstichen pro Parzelle, um einen Durchschnittswert für die jeweiligen Horizonte zu bekommen. In Abbildung 7 sieht man die Ergebnisse der Analyse der Bodenproben, die im Jahr 2015 genommen worden sind.

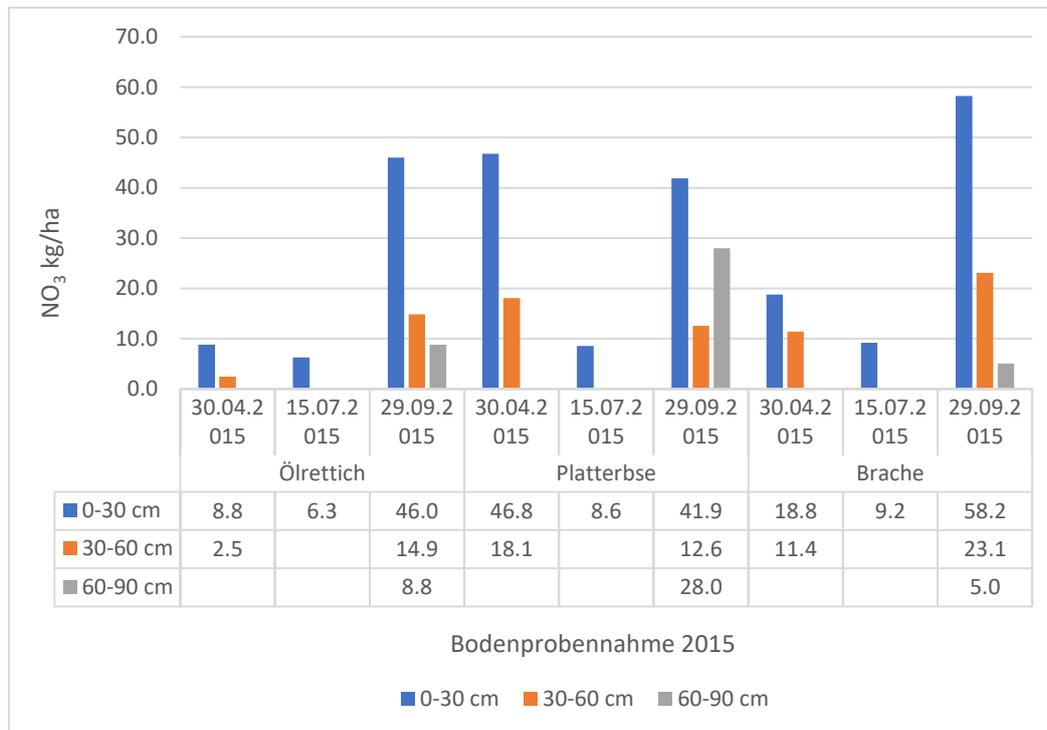


Abbildung 7 Gehalte an mineralisiertem Stickstoff der Bodenproben im Jahr 2015, gegliedert nach der Tiefe der Probennahme

Es wurde für die Platterbse und den Ölrettich eine Analyse der Anteile an Stickstoff und Kohlenstoff in der oberirdischen Biomasse gemacht, mit dem Ergebnis, dass das C/N-Verhältnis der Platterbse bei 15,6 und das des Ölrettichs bei 13 lag.

In Abbildung 8 sieht man die Ergebnisse der Analyse der Bodenproben, die im Jahr 2016 genommen worden sind.

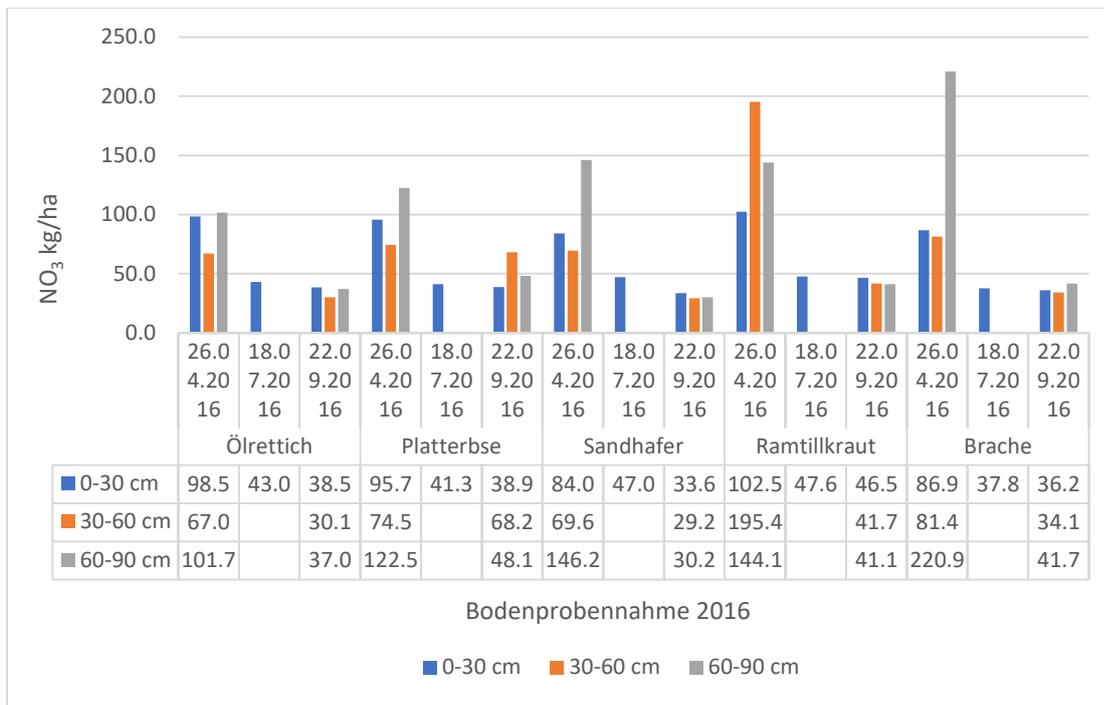


Abbildung 8 Gehalte an mineralisiertem Stickstoff der Bodenproben im Jahr 2016, gegliedert nach der Tiefe der Probennahme

Die hohen Werte im Horizont zwischen 60 und 90 cm deuten auf die Auswaschung von Stickstoff hin.

#### 4.2.2 Das Stickstoffmodell für die Ökobilanz

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Einbindung von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge und auf deren Auswirkung auf den Stickstoffkreislauf. Um den Stoffkreislauf besser darstellen und nachvollziehen zu können, wurde ein passendes Stickstoffmodell gesucht.

Basierend auf einer Onlinerecherche sowie den Masterarbeiten von Schwaiger (2016) und Roidmayr (2016), die sich beide mit Stickstoffmodellen in der Landwirtschaft befassen, wurden folgende Modelle einer näheren Prüfung unterzogen: das DNDC Modell (DeNitrification and DeComposition), MONICA (Model for Nitrogen and Carbon dynamic), STICS (Simulateur multidisciplinaire pour le Culture Standard), CCB (Candy Carbon Balance) und ECOSSE (Estimate Carbon in Organic Soils-Sequestration and Emission).

Folgende Kriterien sollte das Modell erfüllen (nach Roidmayr, 2016):

- Anwendbarkeit: relevante Kulturpflanzen in Datenbank vorhanden oder Möglichkeit diese durch manuelle Eingabe hinzuzufügen
- Modell ist frei verfügbar
- Schlagbezug: Ergebnisse sind Feldstück- bzw. Kulturbezogen
- Verfügbarkeit der Inputparameter in der notwendigen Qualität kann garantiert werden
- Vollständigkeit der Stickstoffdynamik: es wird die gesamte landwirtschaftlich relevante N-Dynamik berücksichtigt
- Modelloutput: es werden  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{N}_2\text{O}$  Verluste berechnet

Die ausgewählten Stickstoffmodelle wurden einer weiteren Prüfung unterzogen und folgende Schlussfolgerungen gezogen:

MONICA konnte nur durch Befehle in der Kommandozeile betrieben werden und war so den anderen Modellen in seiner Nutzerfreundlichkeit unterlegen. Weiters fehlen Outputdaten wie  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{NH}_3$  Emissionen. Die Datenbank enthält nur acht Pflanzen, von denen nur der Ölrettich für diese Arbeit brauchbar wäre.

Das Modell STICS braucht zu viele Inputdaten, die nicht zur Verfügung stehen, um ein genaues Ergebnis zu erzielen. Weiters enthält die Datenbank des Modells keine Daten zu der untersuchten Fruchtfolge. Alle weiteren Kriterien konnten durch dieses Modell erfüllt werden.

Für das ECOSSE Modell wurde kein freier Download gefunden. Das Modell wurde in wissenschaftlichen Arbeiten vor allem für die Beschreibung von Kohlenstoffemissionen und Änderung der Menge an Bodenkohlenstoff, jedoch nicht für Stickstoffkreisläufe verwendet. Da nur die Kohlenstoffdynamik validiert ist und das Modell vor allem für Grünland und nicht für Ackerbau verwendet wird, wurde es für die Anwendung in dieser Arbeit ausgeschlossen.

Das Candy Carbon Balance Modell hat seinen Fokus auf der Kohlenstoffdynamik. Es beinhaltet zwar die Stickstoffmineralisation, jedoch wird die Auswaschung nicht ermittelt. Im Vergleich zu anderen Modellen wird die Wetterdynamik nur mit wenigen Parametern integriert.

Für diese Arbeit wurde schlussendlich das DNDC Modell (Gilhespy et al., 2014) ausgewählt. Es erfüllt alle oben genannten Kriterien bzw. kann es mit den vorhandenen Daten ausreichend befüllt werden. Weiters ist es übersichtlich in der Anwendung und der aggregierte Output kann einfach weiterverwendet und exportiert werden.

## **4.3 Software**

Auf den folgenden Seiten wird die, in dieser Arbeit verwendete, Ökobilanzierungssoftware openLCA näher beschrieben. Danach wird der Aufbau und die Verwendung des Agrarsimulationsmodells DNDC genau erklärt.

### **4.3.1 openLCA**

Die Software mit der die Ökobilanzierung durchgeführt wird, heißt openLCA Version 1.8 (GreenDelta GmbH, Berlin, 2019). Sie ist frei verfügbar und im Forschungsbetrieb der BOKU Wien etabliert.

In openLCA besteht ein betrachtetes Modell aus Flüssen und Prozessen, die zusammen ein Produktsystem ergeben. Die Produktsysteme entstehen durch das Zusammenfügen aller beteiligten Prozesse. Jeder Prozess besteht aus Input- und Outputflüssen, die als Abfall, Produkt oder Elementarfluss charakterisiert sind. Die erstellten Produktsysteme werden durch Fließbilder dargestellt, die Ergebnisse können in einem Sankey- Diagramm visualisiert werden. Um Produktsysteme zu vergleichen, können Projekte erstellt werden. Für die Unsicherheitsanalyse kann mit der Software eine Monte Carlo Simulation durchgeführt werden (Winter et al., 2015).

Zur Modellierung in der Software wird die Datenbank ecoinvent Version 3.4 heruntergeladen. Ecoinvent ist eine internationale Datenbank, die Datensätze von Prozessen bzw. Produkten bereitstellt. Die Datenbank liefert Informationen zu Energie, Entsorgung, Materialien aber auch landwirtschaftlichen Abläufen. Diese sollen als Grundlage für die Bewertung von Umweltwirkungen dienen (ecoinvent, 2017).

### **4.3.2 Das DNDC- Modell**

Das verwendete DeNitrification and DeComposition Modell wird von der Universität von New Hampshire zur Verfügung gestellt und kann auf deren Website ([www.dnnc.sr.unh.edu/](http://www.dnnc.sr.unh.edu/)) kostenlos heruntergeladen werden. Das DNDC- Modell wurde als prozessorientiertes Simulationsmodell entwickelt und in der Version 9.5 verwendet.

Es vereint die Eigenschaften von agrarökonomischen Modellen, die ihren Fokus auf der Phänologie der Kulturpflanzen und der Steigerung der Erträge haben, mit denen von umweltbezogenen Modellen, die sich auf die Darstellung der Nährstoffdynamiken und die bodenchemischen Prozesse konzentrieren. Ziel ist es, die Beziehung zwischen Pflanzen, Böden, Atmosphäre und Betriebsmanagement zu verstehen, abzuschätzen und Vorhersagen zu treffen. DNDC kann sowohl auf Betriebsebene als auch für ganze Regionen angewendet werden. Das Modell kann eine Vielzahl von Parametern simulieren, unter anderem das Pflanzenwachstum oder die Bodentemperatur und Feuchtigkeitscharakteristik sowie Emissionen von Treibhausgasen beispielsweise Methan, Lachgas oder Kohlendioxid. Dafür müssen Informationen über den Standort (Längen-/Breitengrad), Klimadaten, Boden- und Pflanzencharakteristika und Informationen zum Betriebsmanagement bereitgestellt werden. Die Klimadaten müssen ein Minimum an Angaben, die minimale und maximale Temperatur sowie den Niederschlag, beinhalten. Weitere Faktoren wie Strahlung, Luftfeuchtigkeit oder Windgeschwindigkeit können hinzugefügt werden, um die Genauigkeit zu erhöhen. Ebenso braucht man Angaben zur Konzentration von CO<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub> in der Atmosphäre und Stickstoff im Regen. Bodeneigenschaften, wie der organische Kohlenstoffgehalt, Dichte, Tongehalt, Bodentextur und pH-Wert sind ebenfalls erforderlich. DNDC beinhaltet eine Datenbank mit Bodendaten, die einige Parameter wie Porosität, Feldkapazität oder ursprüngliche Stickstoffkonzentration basierend auf der Bodentextur und dem organischen Kohlenstoffgehalt errechnet. Darüber hinaus enthält DNDC eine Datenbank für Pflanzenparameter, die angepasst werden kann. Angaben zum Management sind Aussaatdatum, Ernte, Dünger, Pflanzenrückstände oder Bewässerung (Tabatabaie et al., 2018).

Die Klimadaten zu Groß-Enzersdorf sind auf der Homepage des Departements für Nutzpflanzenwissenschaften vom Institut für Pflanzenbau abrufbar (BOKU,2018). Alle weiteren verfügbaren Informationen zu Boden, Pflanzen und Management wurden von der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf zur Verfügung gestellt (siehe Anhänge B-E).

Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau und die einbezogenen Komponenten von DNDC. Die ökologischen Einflussfaktoren bilden die Basis des Modells und setzen sich aus den Eingaben und den schon vorhandenen Daten der Datenbank zusammen. Das Modell simuliert drei Teilmodule - Bodenklima, Pflanzenwachstum und Biogeochemie - die zur Berechnung der Bodenfaktoren dienen. Die Module sind durch Feedbackloops miteinander vernetzt. Das „Pflanzenwachstum“ ist mittels

Wasseraufnahme mit dem „Bodenklima“ und mittels der Komponenten Stickstoffaufnahme und organischer Kohlenstoffgehalt mit der „Biogeochemie“ verbunden. Die modellierten Bodenfaktoren dienen zur Vorhersage der Nitrifikation, Denitrifikation und Methanogenese und der durch diese Prozesse entstehenden Emissionen (Tabatabaie et al., 2018).

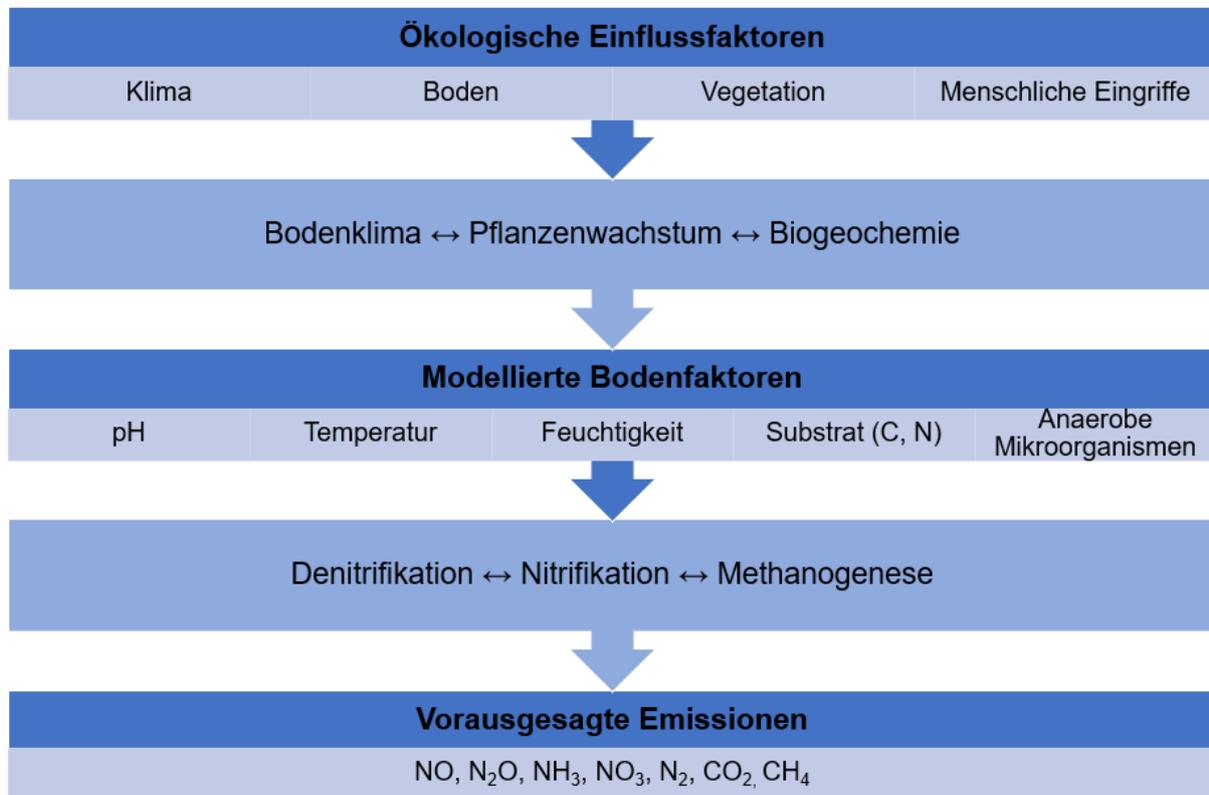


Abbildung 9 Schematische Darstellung des DNDC Modells nach Tabatabaie et al. (2018)

Da für diese Arbeit der Stickstoffkreislauf bzw. die Stickstoffauswaschung im Fokus stehen, werden all jene Komponenten des DNDC Modells näher beschrieben, die darauf Einfluss nehmen:

Die Parameter Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit sind die wichtigsten Treiber für die Simulation der Mineralisation von organischem Material in anorganische Verbindungen. Die Temperaturabhängigkeit wird anhand der O'Neill-Funktion, der Einfluss der Bodenfeuchtigkeit anhand der Weibull-Funktion dargestellt. Die Mineralisation wird im Modell weiters von der Stickstoffverfügbarkeit im Boden, der Bodentextur und den Managementmaßnahmen beeinflusst. Ebenfalls in die Betrachtung fließen Ernterückstände und Wirtschaftsdünger mit ein, die je nach ihrem C/N-Verhältnis zur schnellen oder langsamen Verfügbarkeit von Kohlen- und Stickstoffverbindungen beitragen. Das Modell nimmt weiters an, dass das in diesem

Prozess entstehende CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre entweicht (Szyska, 2009). Für die Berechnung des Wasserflusses sind in DNDC Transpiration, Evaporation, Infiltration, Oberflächenabfluss und Matrixpotential ausschlaggebende Faktoren. Wasser, das den Boden infiltriert, stammt aus Niederschlägen, Bewässerung, Schneeschmelze und stehendem Wasser auf der Oberfläche (Institute of the Study of Earth, Oceans and Space, 2017). Die Wasserversickerung wird mittels Auswaschungsfaktor errechnet und wirkt sich neben der Nitratauswaschung auch auf die Methanoxidation und die Bodenfeuchtigkeit aus (Szyska, 2009).

Für das kalkulierte Pflanzenwachstum werden Prozesse wie Photosynthese, Assimilationsprodukte oder der Blattflächenindex berücksichtigt sowie das Wurzelwachstum und die Aufnahme von Wasser und Stickstoff mit einberechnet. Die Menge des dem Boden entzogenen Stickstoffs ergibt sich aus dem Stickstoffbedarf der Pflanze, der Wurzelbiomasse und der Stickstoffverfügbarkeit in den einzelnen Bodenschichten (Szyska, 2009).

Sowohl für die Berechnung der Nitrifikation als auch für die Denitrifikation sind Bodentemperatur- und feuchtigkeit und die Populationsdynamik der Mikroorganismen entscheidend. Die Nitrifikation wird aufgrund der Verfügbarkeit von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und organischem Kohlenstoff, die Denitrifikation aufgrund der Verfügbarkeit von NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub>, NO und N<sub>2</sub>O berechnet (Institute of the Study of Earth, Oceans and Space, 2017).

Da es für das Modell wichtig ist, eine Vorlaufzeit bis zur Simulation der betrachteten Fruchtfolge zu haben, wurde die angebaute Fruchtfolge um eine realistische Erweiterung ergänzt (C. Foldal, persönliche Mitteilung, 29.11.2017). Die Erweiterung ist notwendig, um die Effekte der Ausgangsbedingungen der Nährstoffpools zu reduzieren. Es wurde die Annahme getroffen, dass die Fruchtfolge um zwei Jahre verlängert wird, in dem ihr die Pflanzen Mais und Hafer, gefolgt von einer Brache/ Zwischenfrucht, vorangestellt werden. Eine beispielhafte Fruchtfolge in DNDC – die Jahreszahl in Klammer gibt das Jahr der Aussaat an - schaut wie folgt aus: Mais (2012) – Sommerhafer (2013) – Ramtillkraut (2013)- Winterraps (2014)- Ramtillkraut (2015)- Soja (2016).

Der Ausgangswert für Stickstoff für die obere Bodenschicht von 0-10 cm wurde mit 35 kg/ha angenommen.

Abbildungen 10 und 11 zeigen Beispiele für die Eingabemasken in DNDC. Unter dem Reiter „Klima“ wurden der Breitengrad von Groß- Enzersdorf und die Klimadaten für alle simulierten Jahre auf Tagesbasis angegeben. Diese bestehen aus der minimalen und maximalen Temperatur, dem Niederschlag, der Windgeschwindigkeit und der Luftfeuchtigkeit (siehe Anhang F). Des Weiteren wurde die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration mit 400 ppm angegeben. Der Abbildung 10 können die bodenspezifischen Parameter entnommen werden. Primärdaten der Versuchsfläche konnten für die Parameter Entwässerungsleistung, Boden-pH-Wert, organischer Kohlenstoff in der oberen Bodenschicht, Feldkapazität und anfängliche Nitratkonzentration verwendet werden. Für die restlichen Parameter wurde auf Default- Werte für den Bodentyp „schluffiger Lehm“ zurückgegriffen.

The screenshot shows the 'Soil' tab in the DNDC software. The 'Land-use' dropdown is set to '(1) Upland crop field'. Under 'Top soil properties', the texture is '(4) Silt Loam' with a clay fraction of 0.14. Other parameters include Bulk density (1.2254), Field capacity (0.3), Clay fraction (0.14), Conductivity (0.0259), Soil pH (8), Wilting point (0.2), and Porosity (0.485). The 'Soil structure' section includes Bypass flow rate (0), Depth of water-retention layer (9.99), and Drainage efficiency (0.7). The 'Initial soil organic C (SOC) content, partitioning and profile' section shows SOC at surface soil (0.017 kg C/kg soil) and a Bulk C/N ratio of 10.0908. The 'SOC partitioning' table is as follows:

	V.l. litter	Labile litter	Resistant litter	Humads	Humus	Biochar
Fraction	0	0	0.01	0.0216	0.9684	0
C/N	5	25	100	10	10	500

Below this, 'Modify decomposition rates by multiplying a factor for SOC pools' shows factors for Litter (1), Humads (1), and Humus (1). The 'Initial N concentration at surface soil (mg N/kg)' is set to nitrate (10.66) and ammonium (0.05). Other parameters include Microbial activity index (1), Slope (0), Soil salinity index (0), and Rain water collection index (1). An 'Accept' button is visible at the bottom right.

Abbildung 10 Eingabefeld der bodenspezifischen Parameter in DNDC

In Abbildung 11 ist der Reiter sichtbar, in dem die anbauspezifischen Daten, wie z.B. Anbau- und Erntezeitpunkt, eingetragen werden. Unter „Bodenbearbeitung“ konnte das Grubbern unter Angabe des Datums als Bodenbearbeitungsmaßnahme eingetragen werden, jedoch gab es keine Möglichkeit Angaben zum Hacken oder Blindstriegeln zu machen.

Das Modell gibt für alle Kulturen Defaultwerte für die Erntemengen an. Diese wurden nach den Daten aus Groß- Enzersdorf geändert. Es wurden die Defaultwerte der pflanzenspezifischen Parameter des Modells verwendet.

CropID	Crop Type	Planting	Harvest	Mode	Residue	Yield
1st crop	3	4	9	1	0.500000	1253.29...

Abbildung 11 Eingabefeld der anbauspezifischen Parameter in DNDP

Die Ergebnisse der Simulation in DNDP fließen als Inputdaten in die Ökobilanzierung ein.

#### 4.4 Pflanzencharakteristika der ausgewählten Zwischenfrüchte

Im Folgenden werden die ausgewählten Zwischenfrüchte näher beschrieben. Vor allem von Leguminosen ist zu erwarten, dass Stickstoff aktiv fixiert und langfristig im Boden angereichert wird. Die Wirkung von Nichtleguminosen zielt vor allem auf die Bodenbiologie, die bodenphysikalischen Eigenschaften sowie den Wasserentzug und die damit einhergehende Vermeidung von Nährstoffauswaschung ab (Kahnt, 1983). Tabelle 1 zeigt die Durchschnittswerte der Stickstoffaufnahme von Zwischenfrüchten in ihrer Biomasse. Die Menge an gebundenem Stickstoff hängt vor allem von der Biomassebildung und dem Stickstoffgehalt des Bodens ab und unterliegt deshalb breiten Schwankungen. Inwieweit der gebundene Stickstoff für die Folgekultur

verfügbar ist, hängt unter anderem vom C/N-Verhältnis der Biomasse der Zwischenfrüchte ab. Ein enges Verhältnis bedeutet, dass die Biomasse schnell zersetzt und der Stickstoff schnell freigesetzt wird. Je weiter das Verhältnis, also je höher der Anteil am Kohlenstoff ist, desto langsamer findet die Zersetzung statt (Georges, 2003). Pflanzen aus den Familien der großkörnigen Leguminosen und Kruziferen zeichnen sich besonders dadurch aus, viel Biomasse zu bilden und eine große Stickstoffbindungsleistung aufzuweisen (Kolbe et al., 2005).

Tabelle 1 Durchschnittswerte der Stickstoffaufnahme von Zwischenfrüchten in der ober- und unterirdischen Biomasse (Kolbe et al., 2015)

	Oberirdischer Aufwuchs	Ernte- und Wurzelrückstände
Frischmasse (t/ha)	15-35	3,5-13
Trockenmasse (t/ha)	2-5	0,5-2
Stickstoffgehalt (% der TM)	1,5-3,5	2-3
Stickstoffmenge (kg N/ha)	30-75	10-40

#### 4.4.1 Leguminose (*Fabaceae*)

Die Gewöhnliche Platterbse (*Lathyrus sativus*) ist eine einjährige, abfrierende Pflanze aus der Familie der Leguminosen. Sie bildet Wurzelknöllchen, an denen sich Knöllchenbakterien ansiedeln, die den Bodenstickstoff binden. Die stickstoffbindende Wirkung kann nur dann voll ausgeschöpft werden, wenn die Wachstumsphase lang genug dauern kann. Durch ihr langsames Jugendwachstum hat sie nur eine geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern. Ihr C/N-Verhältnis liegt bei 7,2 (Kolbe et al., 2004). Die Platterbse kann kräftige Wurzeln in bis zu 120 cm Tiefe ausbilden, aus denen viele feine Seitenwurzeln wachsen. Da sie schnell Wurzeln bildet, ist sie für den Bodenaufbau gut geeignet. Die Platterbse bevorzugt feuchtwarmes Klima, ist aber auch für trockene Standorte geeignet. Gegenüber Frühfrösten ist sie unempfindlich. Sie verträgt mittlere bis schwere kalkreiche Böden (Hampl, 1996).

#### 4.4.2 Kreuzblütler (*Brassicaceae*)

Der Ölrettich (*Raphanus sativus*) ist eine der wichtigsten Pflanzen im Zwischenfruchtanbau. Er ist eine einjährige, abfrierende Pflanze, wobei er auch in kühlen Lagen und Jahreszeiten gute Wüchsigkeit zeigt. Durch seine rasche, hohe

Biomasseproduktion kann er gut zur Unterdrückung von Unkraut verwendet werden, da der Boden schnell bedeckt wird. Er bildet kräftige Pfahlwurzeln bis in 150 cm Tiefe und ein ausgeprägtes Nebenwurzelsystem bis in 30 cm Tiefe. Dadurch kann er Bodenschichten aufbrechen und hat die Fähigkeit, große Mengen an Nährstoffen v.a. Stickstoff zu recyceln und Nährstoffe wie Phosphor für die Folgefrucht löslich zu machen. So wird der Nährstoffverlust in tiefere Lagen verhindert. Die Biomasse des Ölrettichs ist leicht zersetzbar und somit für die Folgefrucht schnell verfügbar, jedoch birgt das auch die Gefahr der Auswaschung (Florentin, 2011). Der Ölrettich ist für alle Bodenarten geeignet, spätsaatverträglich und passt sich sehr gut an die vorherrschenden Klimabedingungen an (Hampl, 1996). Er bildet zwischen 1,5-2,5 t TM/ha unterirdische und zwischen 4-5 t TM/ha oberirdische Biomasse mit einem C/N-Verhältnis von 12:1. Der Ölrettich kann während seiner Vegetationszeit 60-120 kg N/ha aufnehmen (Bodner, 2017).

#### **4.4.3 Gräser (*Poaceae*)**

Der Sandhafer (*Avena strigosa*) bildet 1-2 t TM/ha unterirdische bzw. 3-4 t TM/ha oberirdische Biomasse. Er hat nur eine geringe Winterhärte und ist daher abfrierend. Der Sandhafer besitzt Büschelwurzeln, wodurch eine intensive aber nicht tiefe Durchwurzelung entsteht. Er hat einen mittleren Wasser- und einen geringen Nährstoffbedarf, wächst besonders gut auf mittelschweren Böden, ist aber nur gering spätsaatverträglich (Landwirtschaftskammer NRW, 2013). Nach dem Mähen wird er nur langsam zersetzt, wodurch seine Nährstoffe nur nach und nach an die Folgefrucht abgegeben werden. Dadurch ist jedoch eine längere Bodenbedeckung und damit einhergehend ein besserer Erosionsschutz, mehr Bodenfeuchtigkeit und Unkrautunterdrückung gewährleistet (Florentin, 2011).

#### **4.4.4 Korbblütler (*Asteraceae*)**

Das Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica* L.) ist eine einjährige, krautige Pflanze, die sehr frostempfindlich ist und deshalb bei den ersten Frösten abfriert; es ist trockenheitstolerant. Es bildet viel Biomasse und kann gut zur Unkrautbekämpfung eingesetzt werden. Das Wurzelsystem besteht aus Pfahl- und Seitenwurzeln. Seine Biomasse ist schnell verrottend (Märzendorfer und Harant, 2016). Das Ramtillkraut zeigt gutes Wachstum auf allen Böden und kann zwischen 1-2 t TM/ha unterirdische und 2,5-3,5 t TM/ha oberirdische Biomasse bilden. Es hat eine geringe Spätsaatverträglichkeit, einen mittleren Wasser- und einen geringen Nährstoffbedarf (Landwirtschaftskammer NRW, 2013).

Tabelle 2 fasst zusammen, inwieweit die einzelnen Zwischenfrüchte die Ziele einer Gründüngung erfüllen können.

Tabelle 2 Eignung der Zwischenfrüchte für die gewünschten Ziele nach NRW Landwirtschaftskammer (2013)

	Ölrettich	Ramtillkraut	Sandhafer	Platterbse
Erosionsschutz	hoch	mittel	hoch	mittel
Lockerung Unterboden	hoch	gering	gering	hoch
Unkrautunterdrückung	hoch	hoch	hoch	gering
Nährstoffbindung	hoch	gering	mittel	gering
Symbiot. N-Fixierung	nein	nein	nein	ja
Humusanreicherung	hoch	mittel	mittel	mittel

Büchi et al. (2015) haben folgende, für diese Arbeit relevanten, Werte an 2 Standorten gemessen: Das C/N-Verhältnis von Soja betrug jeweils 16,2 und 24,3. Der gesamte Stickstoff der oberirdischen Biomasse lag bei 143 und 60 kg/ha, wobei aus der Atmosphäre 55 und 4 kg/ha fixiert wurden. Dies wurde durch die „<sup>15</sup>N natural abundance method“ berechnet. Der Biomasseertrag betrug 4,83 und 3,41 t/ha. Der Soja hat in 3 Monaten 70 kg N/ha vom Boden aufgenommen.

Der Biomasseertrag der Platterbse lag bei 3,99 und 2,92 t/ha, der fixierte Stickstoff aus der Atmosphäre bei 149 und 101 kg/ha. Der Stickstoffgehalt in der oberirdischen Biomasse betrug 161 und 129 kg/ha. Das C/N-Verhältnis der Platterbse wurde mit 10,7 und 9,6 ermittelt. Ungefähr 80 % des aufgenommenen Stickstoffs wurde durch die Fixierung von atmosphärischem N<sub>2</sub> erzielt (Büchi et al., 2015).

## 4.5 Datengrundlage und Sachbilanz

In diesem Kapitel wird auf die Verwendung der Sekundärdaten aus der ecoinvent-Datenbank eingegangen. Die Datensätze für die Saatgut- und Maschinenproduktion wurden für die Berechnungen in dieser Arbeit angepasst. Die Daten zum Dieserverbrauch stammen von KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft). Weiters sind in diesem Kapitel die Ergebnisse der Simulation mit DNDC aufgeführt.

### 4.5.1 Saatgutdaten

Die Daten zur Produktion von Saatgut stammen aus ecoinvent. Da nicht für alle verwendeten Pflanzen die passenden Daten vorhanden waren, wurden die Datensätze von Saatgut mit ähnlichem Tausendkorngewicht verwendet.

Für Soja konnten die Daten von ecoinvent verwendet werden, die unter der Bezeichnung „soybean seed production, for sowing“ zu finden sind. Für die Platterbse wurden Daten der Erbsensaatgutproduktion verwendet, zu finden unter „pea seed production, for sowing“. Für die anderen drei Zwischenfrüchte wurde anstelle von Ölrettich (TKG 10,8 g) Raps (TKG 8 g), statt Sandhafer (TKG 20,4 g) Hafer (TKG 30-45 g) und anstelle von Ramtillkraut (TKG 2,9 g) Klee (TKG 1,7-3,2 g) genommen (proplanta, 2018).

Die Saatgutmengen belaufen sich auf 28,35 kg/ha für den Ölrettich, auf 193,3 kg/ha für die Platterbse, auf 117,3 kg/ha für Sandhafer und auf 12,18 kg/ha für das Ramtillkraut. Für den Sojaanbau wurden 110 kg/ha verwendet.

#### 4.5.2 Maschinendaten

Die Daten für die Produktion der Traktoren und Maschinen wurden ebenfalls aus ecoinvent bezogen. Dabei wurde das Gewicht der Maschinen in der Datenbank mit dem der Verwendeten verglichen - siehe Tabelle 3 - und die Emissionen und der Ressourcenverbrauch angepasst.

Tabelle 3 Vergleich der Gewichte der Traktoren/Maschinen

Verwendete Geräte	Leergewicht in kg	Geräte in ecoinvent	Leergewicht in kg
Traktor Steyr CVT	6.950	Tractor, 4-wheel, agricultural	3.000
Traktor Steyr 9080	3.749	Tractor, 4-wheel, agricultural	3.000
Mähdrescher CASE IH 8010	16.182	Harvester	10.000
Flügelscharrgrubber Galaxis G300	1.130	Agricultural machinery, tillage	800
Hackstriegel Aerostar 1200 Einböck	1.310	Agricultural machinery unspecified (hoe)	1.000
Sämaschine Terrasem R3	4.550	Agricultural machinery unspecified (seeder)	1.000
Sämaschine Maternacc MS8130	950	Agricultural machinery unspecified (seeder)	1.000

Für die Arbeitsgänge wurden die Dieserverbräuche des KTBL-Feldarbeitsrechners (KTBL, 2018) verwendet. In openLCA wurde als Unsicherheit die Dreiecksverteilung angegeben.

Tabelle 4 Dieserverbräuche der einzelnen Arbeitsgänge in l/ha

Arbeitsgang	Verwendete Maschinenkombination	Maschinenkombination aus KTBL	Verbrauch bei 1 ha	Verbrauch bei 2 ha	Verbrauch bei 10 ha
Aussaat Ölrettich, Ramtillkraut	Pöttinger Terrasem R3 3 m AB + CVT 6240 176 kW	Ölrettich, Senf 3 m + 67 kW	6,21	5,87	5,33
Aussaat Sandhafer	Pöttinger Terrasem R3 3 m AB + CVT 6240 176 kW	Gräser 3 m + 67 kW	6,28	5,94	5,41
Aussaat Platterbse	Pöttinger Terrasem R3 3 m AB + CVT 6240 176 kW	Leguminosengemenge 3 m + 67 kW	6,36	6,01	5,48
Aussaat Soja	Matermacc MS 8130 3 m AB, 6-reihig + Steyr 9080 60 kW	Einzelkornsaat Sonnenblume: 6 reihig, 3 m + 54 kW	5,16	4,81	4,33
Grubbern	Galaxis G300, 3 m AB + CVT 6240 176 kW	Stoppelgrubber flach, schräg (30°) 3 m AB + 157 kW	12,11	10,92	9,33
Striegeln	Einböck Aerostar 1200 12 m AB, 6-reihig + Steyr 9080 60 kW	12 m AB + 54 kW	1,88	1,65	1,32
Hacken	Einböck Aerostar 1200 12 m AB, 6-reihig + Steyr 9080 60 kW	24-reihig, 12 m + 67 kW	3,94	3,72	2,99
Mähdrusch	CASE IH 8010 10.500 l Korntankgröße, 294,20 kW, 6 m AB	Mähdrusch 8.500 l, 200 kW, 6 m Schneidwerk	31,63	28,43	25,17

Im KTBL-Feldarbeitsrechner wurde der Bodenbearbeitungswiderstand mit „mittel“ und die Entfernung Hof zu Feld mit einem Kilometer festgelegt. Die Erntemenge beim Mähdrusch wird mit 3,5 t/ha angegeben. Für die Aussaat werden Näherungswerte für die Saatsmengen angenommen. Diese betragen für den Ölrettich und das Ramtillkraut 25 kg/ha, für den Sandhafer 70 kg/ha und für die Platterbse 210 kg/ha. Bis auf den

Mähdrescher beziehen sich die Angaben von KTBL auf eine Zugmaschine mit Anhänger.

Beim Sojaertrag bestehen ebenfalls Unsicherheiten, die durch eine Normalverteilung, (Mittelwert 2,346 und Standardabweichung 1,09 - Ertragswerte von 7 Jahren) berücksichtigt werden.

#### 4.5.3 Ergebnisse der Simulation durch DNDC

Die Tabellen 5 bis 8 zeigen die errechneten bzw. für die Ökobilanzierung relevanten Emissionen durch das Simulationsmodell DNDC.

Tabelle 5 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Zeitraum von 01.07.2015 (nach Ernte von Winterraps) bis 25.04.2016 (Anbau Soja)

2016 kg/ha	Brache	Ölrettich	Platterbse	Ramtillkraut	Sandhafer
N <sub>2</sub>	0,12	0,15	0,1	0,06	0,56
N <sub>2</sub> O Ausgasung	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02
NO Ausgasung	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
NO <sub>3</sub> Auswaschung	5,91	1,59	0,53	0,43	0,52
PO <sub>4</sub> Auswaschung	0,05	0,05	0,02	0,04	0,04
CO <sub>2</sub> Bodenemissionen	309,97	527,79	1574,83	758,69	851,46
Stickstoffaufnahme der Zwischenfrüchte	-	13,3	51,62	20,1	18,1

Tabelle 6 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Anbauzeitraum des Sojas von 25.04.- 15.09.2016

2016	Soja nach Brache	Soja nach Ölrettich	Soja nach Platterbse	Soja nach Ramtillkraut	Soja nach Sandhafer
N <sub>2</sub>	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
N <sub>2</sub> O Ausgasung	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
NO Ausgasung	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
NO <sub>3</sub> Auswaschung	1,99	2,55	2,58	2,02	2,06
PO <sub>4</sub> Auswaschung	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
CO <sub>2</sub> Bodenemissionen	509,38	564,43	733,25	473,93	522,99
Stickstoffaufnahme des Sojas	88,1	88,75	91,1	89,37	90,36

Tabelle 7 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Zeitraum von 15.07.2014 (nach Ernte Winterweizen) bis 21.04.2015 (Anbau Soja)

2015	Brache	Ölrettich	Platterbse
N <sub>2</sub>	0,15	0,07	0,78

N <sub>2</sub> O Ausgasung	0,13	0,09	0,1
NO Ausgasung	0,02	0,02	0,03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Auswaschung	4,92	2,5	3,57
PO <sub>4</sub> Auswaschung	0,09	0,17	0,05
CO <sub>2</sub> Bodenemissionen	394,13	599,31	1421,18
Stickstoffaufnahme der Zwischenfrüchte	-	27,72	39,7

Tabelle 8 Kalkulierte Emissionen (kg/ha) von DNDC im Anbauzeitraum von Soja von 21.04.2015- 22.09.2015

2015	Soja nach Brache	Soja nach Ölrettich	Soja nach Platterbse
N <sub>2</sub>	0,08	0,12	0,11
N <sub>2</sub> O Ausgasung	0,02	0,02	0,01
NO Ausgasung	0,02	0,03	0,03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Auswaschung	0,86	1,03	0,74
PO <sub>4</sub> Auswaschung	-	0,01	-
CO <sub>2</sub> Bodenemissionen	516,27	557,28	723,25
Stickstoffaufnahme des Sojas	36,84	27,72	34,5

## 4.6 Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse

Dieses Kapitel beschreibt den Umgang mit Unsicherheiten in dieser Arbeit. Die Ergebnisse werden mittels Monte Carlo Simulation getestet. Des Weiteren werden drei Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

### 4.6.1 Unsicherheitsanalyse

Für die Analyse der Unsicherheiten werden Monte Carlo Simulationen durchgeführt. Diese sollen die Ergebnisse auf ihre Robustheit hinsichtlich streuender Modellparameter testen. Die Monte Carlo Simulation generiert eine Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion für den Modelloutput, in Bezug auf eine potentiell große Anzahl an Unbestimmtheitsfaktoren unter den Modelleingangsgrößen. Die Simulationen wurden mit 1000 Iterationen durchgeführt (Kral et al., 2016).

Mittels der Statistiksoftware SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) der Firma IBM werden die gewonnen Resultate der Ökobilanzierung analysiert. Es werden Mann Whitney U Tests durchgeführt, um die Ergebnisse der unterschiedlichen

Systeme zu vergleichen und die Signifikanz der Unterschiede zu berechnen. Der Mann Whitney U Test ist ein nichtparametrischer Test für zwei unabhängige Stichproben. Dabei werden die Ergebnisse der Zwischenfruchtsysteme denen der Brache gegenübergestellt. Das Signifikanzniveau  $\alpha$  beträgt 0,05.

#### **4.6.2 Sensitivitätsanalyse**

Es werden drei Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Auswirkungen der Änderungen von ausgewählten Modellparameter auf die Ergebnisse zu testen. Es werden jene Parameter verändert, die einen großen Einfluss auf die Gesamtergebnisse haben. Folgende Sensitivitätsanalysen werden durchgeführt und im Kapitel diskutiert:

1. Berechnung eines Mineraldüngeräquivalents mit der Annahme, dass der Soja mit 20 kg mineralischem Stickstoff oder mit 40 kg mineralischem Stickstoff während seiner Vegetationszeit gedüngt wird
2. Vergleich der Gesamtemissionen, wenn als Hauptfrucht Mais statt Soja angebaut wird, wobei Mais einmal nach einer Brache und einmal nach Ölrettich kultiviert wird
3. Betrachtung der Umweltauswirkungen eines realitätsgetreueren Traktors anstelle des Traktors Steyr CVT, der für die verwendeten Maschinen überdimensioniert ist

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Ökobilanzierung dargestellt und beschrieben. In Kapitel 5.1 werden die Ergebnisse der Zwischenfruchtsysteme und des Referenzsystems Brache betrachtet. In Kapitel 5.3 werden die Ergebnisse jener zwei Sojasysteme betrachtet, deren Zwischenfrüchte die beste Performance in der vorangegangenen Analyse gezeigt haben. Die Sojasysteme werden wiederum dem Referenzsystem Soja nach Brache gegenübergestellt. Die Beschränkung auf die Betrachtung von zwei Sojaanbausystemen wurde gemacht, da die Betrachtung aller Systeme den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Die Darstellungen der Gesamtemissionen beinhalten die Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse mittels Monte Carlo Simulation mit den Balken für das 5 %-ige und 95 %-ige Perzentil. Die Kapitel 5.2 und 5.5 befassen sich mit der Analyse der Beitragskategorien aus denen sich die Gesamtemissionen zusammensetzten. Überdies werden die Ergebnisse diskutiert und Schlussfolgerungen gezogen.

### 5.1 Auswertung der Gesamtemissionen der Zwischenfruchtsysteme und der Brache

Im Folgenden werden die Daten vom Sojaanbaujahr 2016 im Detail betrachtet, da in diesem Jahr Daten von mehr Zwischenfruchtvarianten zur Verfügung stehen. Um ein Gefühl für die Streuung zu bekommen, werden die Gesamtemissionen der Zeitspanne von Juli 2014 (Ernte Vorfrucht) bis April 2015 (Aussaat des Sojas) ebenfalls in der Tabelle 9 und der Abbildung 12 dargestellt.

Tabelle 9 Vergleich der Gesamtemissionen der zwei Zwischenfruchtsysteme und der Brache im Zeitraum Juli 2014- April 2015 je Wirkungskategorie

	Ölrettich	Platterbse	Brache
Globales Treibhauspotenzial [kg CO <sub>2</sub> -äq./ha]	871,78	1737,23	496,11
Marine Eutrophierung [kg N-äq./ha]	0,36	0,80	0,35
Aquatische Eutrophierung [kg P-äq./ha]	0,13	0,12	0,04
Aquatische Ökotoxizität [kg 1,4-DCB-äq./ha.]	7,12	9,30	1,73
Humantoxizität [kg 1,4-DCB-äq./ha]	521,78	460,50	119,79
Knappheit fossiler Energieträger [kg Öl-äq./ha]	62,19	70,20	15,89
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> -äq./ha]	1,62	1,31	0,26

Die relativen Darstellungen in den Abbildungen 12, 13 und 21 stellen das Verhältnis der Ergebnisse zueinander dar, wobei der höchste Wert je Kategorie die 100% darstellt.

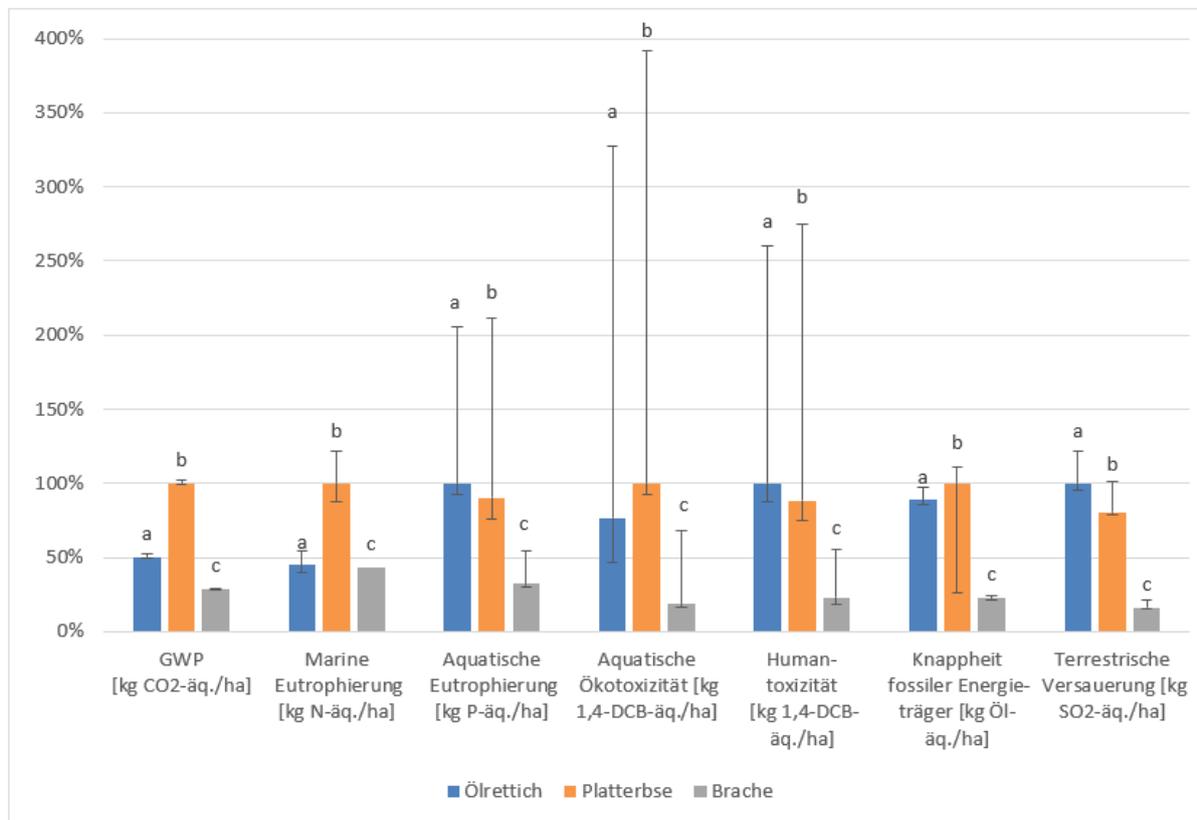


Abbildung 12 Relativer Beitrag der Zwischenfruchtssysteme und der Brache im Zeitraum Juli 2014- April 2015 je Wirkungskategorie; Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

In allen Wirkungskategorien schneidet die Brache am besten ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für den Anbau der Zwischenfrüchte eine weitere Bodenbearbeitung und das Aussäen und Produzieren des Saatgutes notwendig sind. Beim globalen Treibhauspotenzial und der marinen Eutrophierung schneidet der Anbau der Platterbse mit 1737,23 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha und 0,80 kg N-äq./ha schlechter ab als der Ölrettich mit 871,78 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha und 0,36 kg N-äq./ha. Bei der aquatischen Eutrophierung weist der Ölrettich mit 0,13 kg P-äq./ha ein größeres Emissionspotenzial auf als die Platterbse mit 0,12 kg P-äq./ha. Die aquatische Ökotoxizität liegt mit 9,30 kg 1,4-DCB-äq./ha bei der Platterbse höher als beim Ölrettich mit 7,12 kg 1,4-DCB-äq./ha. Die Ergebnisse der Humantoxizität setzen sich aus denen der karzinogenen und nicht-karzinogenen Humantoxizität zusammen.

Diese liegen beim Ölrettichanbau bei 521,78 kg 1,4-DCB-äq./ha, beim Platterbsenanbau bei 460,50 kg 1,4-DCB-äq./ha. Bei der Wirkungskategorie Knappheit fossiler Ressourcen schneidet die Platterbse mit 70,20 kg Öl-äq./ha schlechter ab als der Ölrettich mit 62,19 kg Öl-äq./ha. Der Ölrettich hat bei der terrestrischen Versauerung mit 1,62 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha höhere Emissionen als die Platterbse mit 1,31 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha. Aus der Abbildung 12 wird ersichtlich, dass sich die Ergebnisse aller drei Systeme in allen Wirkungskategorien signifikant voneinander unterscheiden.

Die Tabelle 10 und die Abbildung 13 zeigen die Gesamtemissionen der Zwischenfruchtsysteme für den Zeitraum Juli 2015 (Ernte Vorfrucht) bis April 2016 (Aussaat Soja).

Tabelle 10 Vergleich der Gesamtemissionen der vier Zwischenfruchtsysteme und der Brache für den Zeitraum Juli 2015- April 2016 je Wirkungskategorie

	Ölrettich	Platterbse	Ramtillkraut	Sandhafer	Brache
Globales Treibhauspotenzial [kg CO <sub>2</sub> -äq./ha]	785,36	1867,04	972,72	1123,80	388,11
Marine Eutrophierung [kg N-äq./ha]	0,30	0,60	0,20	0,43	0,57
Aquatische Eutrophierung [kg P-äq./ha]	0,09	0,11	0,09	0,09	0,03
Aquatische Ökotoxizität [kg 1,4-DCB- äq./ha]	7,12	9,30	6,64	7,56	1,73
Humantoxizität [kg 1,4-DCB-äq./ha]	521,78	460,50	446,73	500,33	119,79
Knappheit fossiler Energieträger [kg Öl- äq./ha]	62,19	70,19	57,53	63,54	15,89
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> - äq./ha]	1,63	1,31	0,92	1,36	0,27

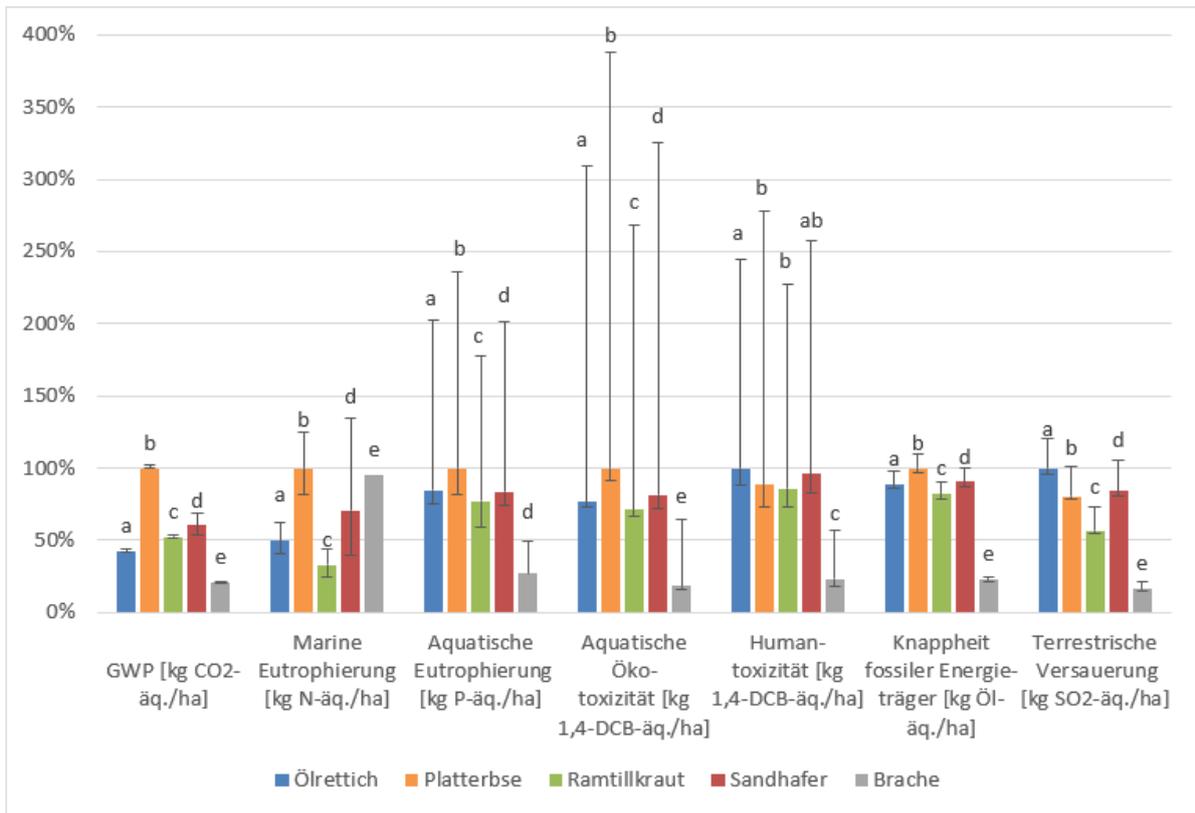


Abbildung 13 Relativer Beitrag der vier Zwischenfruchtsysteme und der Brache für den Zeitraum Juli 2015- April 2016 je Wirkungskategorie; Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

Ähnlich wie Zeitraum Juli 2014- April 2015 sind die Umweltwirkungen bei der Brache bei den meisten Wirkungskategorien am geringsten. Nur bei der marinen Eutrophierung schneidet sie mit 0,57 kg N-äq./ha schlechter ab als Ramtillkraut mit 0,2 kg N-äq./ha, Ölrettich mit 0,3 kg N-äq./ha und Sandhafer mit 0,43 kg N-äq./ha. Dies liegt daran, dass die Nitratauswaschung bei der Brache 4-14 mal so hoch ist wie bei den Zwischenfrüchten. Nur die Platterbse mit 0,6 kg N-äq./ha schneidet schlechter ab als die Brache. Auch beim globalen Treibhauspotenzial hat die Platterbse mit 1867,04 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha die höchsten Emissionen, gefolgt vom Sandhafer mit 1123,8 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha und dem Ramtillkraut mit 972,72 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha. Ölrettich und die Brache haben mit jeweils 785,36 und 388,11 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha die niedrigsten Emissionen in dieser Kategorie. Bei der aquatischen Eutrophierung weist die Platterbse mit 0,11 kg P-äq./ha das schlechteste Ergebnis auf. Ölrettich, Ramtillkraut und Sandhafer kommen jeweils auf 0,09 kg P-äq./ha, die Brache auf 0,03 kg P-äq./ha. Der Platterbsenanbau schneidet auch bei der aquatischen Ökotoxizität mit 9,3 kg 1,4-DCB-äq./ha am schlechtesten, das Ramtillkraut unter den Zwischenfrüchten mit 6,64 kg 1,4-DCB-äq./ha am besten ab. Ölrettich und Sandhafer liegen bei 7,12 kg 1,4-DCB-äq./ha und 7,56 kg 1,4-DCB-

äq./ha. Die Brache schneidet bei der aquatischen Toxizität mit 1,73 kg 1,4-DCB-äq./ha deutlich am besten ab. Auch bei der Humantoxizität ist das Ergebnis der Brache mit 119,79 kg 1,4-DCB-äq./ha mit Abstand am niedrigsten, während der Ölrettich mit 521,78 kg 1,4-DCB-äq./ha das schlechteste Ergebnis erzielt. Das Ramtillkraut schneidet in dieser Kategorie mit 446,73 kg 1,4-DCB-äq./ha unter den Zwischenfrüchten am besten ab, gefolgt von der Platterbse mit 460,50 kg 1,4-DCB-äq./ha und dem Sandhafer mit 500,33 kg 1,4-DCB-äq./ha. Die Wirkungskategorie Knappheit fossiler Energieträger beträgt beim Ölrettich 62,19 kg Öl-äq./ha, bei der Platterbse 70,19 kg Öl-äq./ha, beim Ramtillkraut 57,53 kg Öl-äq./ha, beim Sandhafer 63,54 kg Öl-äq./ha und bei der Brache 15,89 kg Öl-äq./ha. Die terrestrische Versauerung ist mit 0,27 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha für die Brache am geringsten. Bei den Zwischenfrüchten schneidet das Ramtillkraut mit 0,92 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha am besten ab, gefolgt von der Platterbse mit 1,31 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha. Das Ergebnis für Sandhafer liegt bei 1,36 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha, für Ölrettich bei 1,63 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha.

Bei den meisten Wirkungskategorien ist der Unterschied in den Ergebnissen signifikant. Nur zwischen Sandhafer und Ölrettich gibt es keine signifikanten Unterschiede in den Wirkungskategorien aquatische Eutrophierung und Humantoxizität. Außerdem gibt es keine Signifikanz in den Unterschieden zwischen Sandhafer und Platterbse bzw. Platterbse und Ölrettich in der Wirkungskategorie Humantoxizität.

Die in den Abbildungen 12 und 13 angegebenen Unsicherheiten sind vor allem in den Kategorien aquatische Eutrophierung, aquatische Ökotoxizität und Humantoxizität hoch. In allen drei Kategorien werden die Emissionen vom Maschineneinsatz dominiert. Für die Maschinenproduktionen werden von ecoinvent Unsicherheiten mittels Normalverteilung vorgegeben. Die Unsicherheiten zum globalen Treibhauspotenzial sind sehr gering, da diese Kategorie von den Feldemissionen bestimmt wird und es für diese keine Angaben zu Unsicherheiten gibt. Die Kategorien terrestrische Versauerung und marine Eutrophierung werden zu einem großen Teil von der Saatgutproduktion bestimmt. Dies erklärt auch die fehlende bzw. nur geringe Unsicherheitspanne bei der Brache. Die Unsicherheiten ergeben sich hier wieder aus der vorgegebenen Normalverteilung von ecoinvent. Die Unsicherheiten bei der Kategorie Knappheit fossiler Ressourcen werden von der Dieselproduktion bestimmt.

### **5.1.1 Vergleich zwischen den Jahren 2015 und 2016**

Von dem Referenzsystem Brache und den Zwischenfrüchten Platterbse und Ölrettich liegen Daten von zwei Fruchtfolgen vor. Wie aus den Tabellen 9 und 10 ersichtlich wird, sind die Ergebnisse für die Wirkungskategorien aquatische Ökotoxizität, Humantoxizität, Knappheit fossiler Ressourcen und terrestrische Versauerung fast ident. Unterschiede gibt es bei den Kategorien globales Treibhauspotenzial, marine Eutrophierung und aquatische Eutrophierung. Bei dem Vergleich der Brachen der Zeiträume Sommer 2014 bis Frühjahr 2015 bzw. Sommer 2015 bis Frühjahr 2016 waren die Unterschiede in den Kategorien aquatische Eutrophierung, globales Treibhauspotenzial und marine Eutrophierung signifikant. Das Gleiche gilt für den Vergleich der Ölrettichsysteme und der Platterbsensysteme in den selben Zeiträumen. Da die Feldarbeitsgänge und Saatgutmengen in beiden Jahren dieselben sind, resultieren die Unterschiede aus den Emissionen der Simulation mit DNDC.

## **5.2 Beitragsanalyse der Zwischenfruchtsysteme**

In diesem Kapitel wird beschrieben aus welchen Beiträgen sich die Gesamtemissionen der Zwischenfruchtsysteme im Zeitraum Juli 2015 bis April 2016 zusammensetzen. Die Beiträge werden in die Beitragskategorien „direkte Feldemissionen“, „Maschinen“, „Grubbern“, „Säen“, „Saatgut“ und „Sonstiges“ zusammengefasst. „Sonstiges“ beinhaltet die Beiträge von der Dieselproduktion und dem Schuppen für die Maschinenlagerung. Unter „Maschinen“ werden die Umweltauswirkungen aller eingesetzter Traktoren und landwirtschaftlicher Geräte zusammengefasst. Die Analyse bezieht sich auf die funktionelle Einheit ein Hektar landwirtschaftlich genutztes Land. Aus der Analyse dieser Ergebnisse werden jene zwei Zwischenfruchtsysteme gewählt, die anschließend zusammen mit dem Sojaanbau betrachtet werden. Die Emissionen der Brache werden nicht genauer betrachtet. Sie bestehen aus den direkten Feldemissionen (siehe Tabelle 5) und den Emissionen eines einmaligen Grubberprozesses.

### **5.2.1 Globales Treibhauspotenzial**

Wie aus Abbildung 14 erkennbar, machen die direkten Feldemissionen bei allen Zwischenfrüchten den größten Anteil am globalen Treibhauspotenzial aus. Beim Ölrettich ist dieser Anteil mit 69% am geringsten, bei der Platterbse mit 85% am größten. Der zweitgrößte Anteil zum GWP 100 stammt vom Maschineneinsatz. Er

beträgt 107 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha und macht beim Ölrettich 14%, beim Ramtillkraut 11%, beim Sandhafer 10% und bei der Platterbse nur 6% aus. Grubbern und die Saatgutproduktion machen beim Ölrettich mit jeweils 57,4 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha jeweils 7 % am GWP 100 aus. Beim Sandhafer und Ramtillkraut macht das Grubbern 5% bzw. 6 % aus, bei der Platterbse 3%. Die Saatgutproduktion verursacht unter den Zwischenfrüchten bei der Platterbse mit 94,3 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha die höchsten Emissionen in dieser Beitragskategorie. Beim Sandhafer liegen die Emissionen bei 78,14 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha, beim Ölrettich bei 57,4 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha beim Ramtillkraut nur bei 19,87 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha. Dies kann unter anderem damit erklärt werden, dass die Saatgutmengen bei der Platterbse am höchsten und beim Ramtillkraut am niedrigsten ist. Das Säen und die Kategorie Sonstiges machen bei allen Zwischenfrüchten nur jeweils 1% des GWP 100 aus.

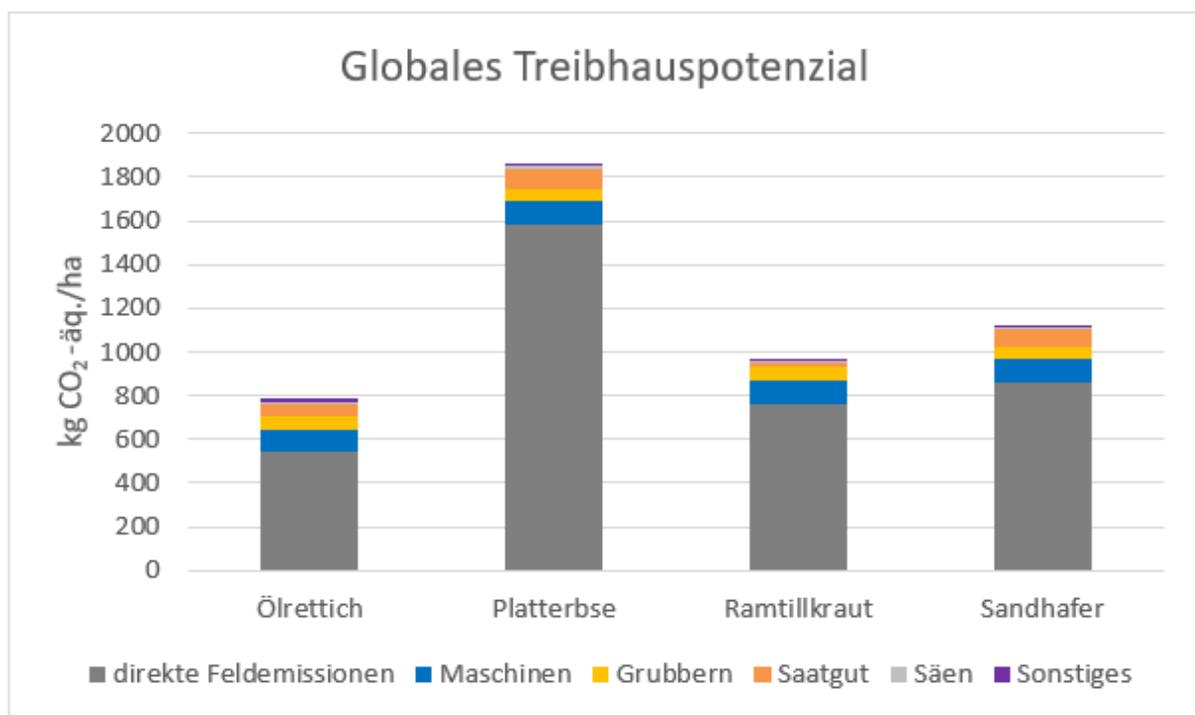


Abbildung 14 Beiträge der vier Zwischenfruchtssysteme zum globalen Treibhauspotenzial

### 5.2.2 Marine Eutrophierung

Die marine Eutrophierung wird nur von den Beitragskategorien „direkte Feldemissionen“, „Saatgut“ und „Maschinen“ verursacht, wobei die Saatgutproduktion bei allen Zwischenfrüchten die meisten Emissionen hervorbringt. Die Produktion des Platterbsensaatguts sorgt für 0,56 kg N-äq./ha und macht 93% an der marinen Eutrophierung aus. Beim Sandhafer macht die Saatgutproduktion mit 0,39 kg N-äq./ha

91%, beim Ölrettich mit 0,19 kg N-äq./ha 63% und beim Ramtillkraut mit 0,16 kg N-äq./ha 83% der marinen Eutrophierung aus. In Abbildung 15 ist zu erkennen, dass die direkten Feldemissionen die zweitgrößten Verursacher der marinen Eutrophierung sind. Beim Ölrettich liegen die Emissionen bei 0,11 kg N-äq./ha, was einem Anteil von 36% entspricht, bei der Platterbse liegen sie bei 0,036 kg N-äq./ha mit einem Anteil von 6%. Beim Ramtillkraut kommen die direkten Feldemissionen auf 0,03 kg N-äq./ha mit einem Anteil von 15%, während beim Sandhafer 0,034 kg N-äq./ha produziert werden, was einen Anteil von 8% ausmacht. Der Maschineneinsatz verursacht Emissionen von 0,003 kg N-äq./ha.

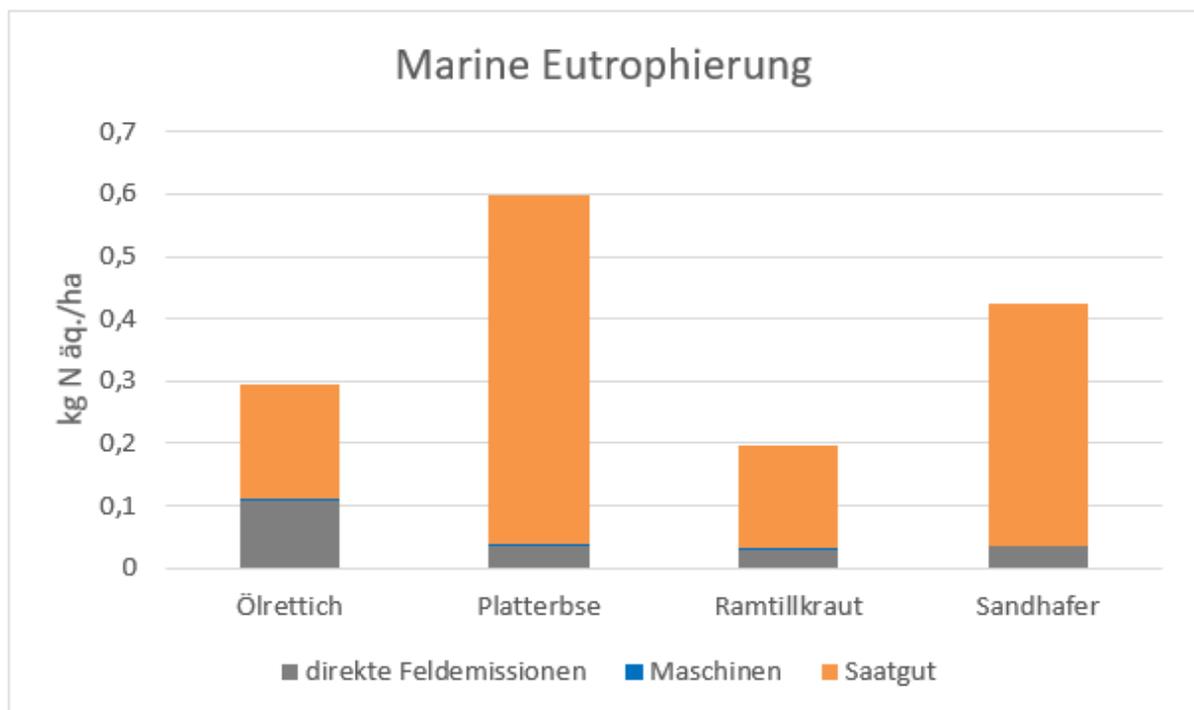


Abbildung 15 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur marinen Eutrophierung

### 5.2.3 Aquatische Eutrophierung

Der Abbildung 16 ist zu entnehmen, dass zur aquatischen Eutrophierung mit 0,06 kg P-äq./ha vor allem der Maschineneinsatz beiträgt. Bei der Platterbse macht das 50% aller Emissionen aus, beim Ramtillkraut 73%. Bei Ölrettich und Sandhafer liegen die Anteile, die der Maschineneinsatz zur Wirkungskategorie beiträgt, bei 59% und 65%. Die Beitragskategorie mit der zweitgrößten Emission stellt bei der Platterbse und dem Sandhafer die Saatgutproduktion dar. Sie liegt bei der Platterbse bei 0,05 kg P-äq./ha und beim Sandhafer bei 0,02 kg P-äq./ha. Bei Ölrettich und Ramtillkraut liegen die Beitragskategorien Saatgutproduktion und direkte Feldemissionen mit jeweils 0,02 kg

P-äq./ha und 0,01 kg P-äq./ha auf demselben Emissionsniveau und machen beim Ölrettich jeweils 20%, beim Ramtillkraut jeweils 12% aus. Die Kategorie „Sonstiges“ trägt mit 0,002 kg P-äq./ha bzw. max. 2% nur wenig zu der Gesamtemission bei.

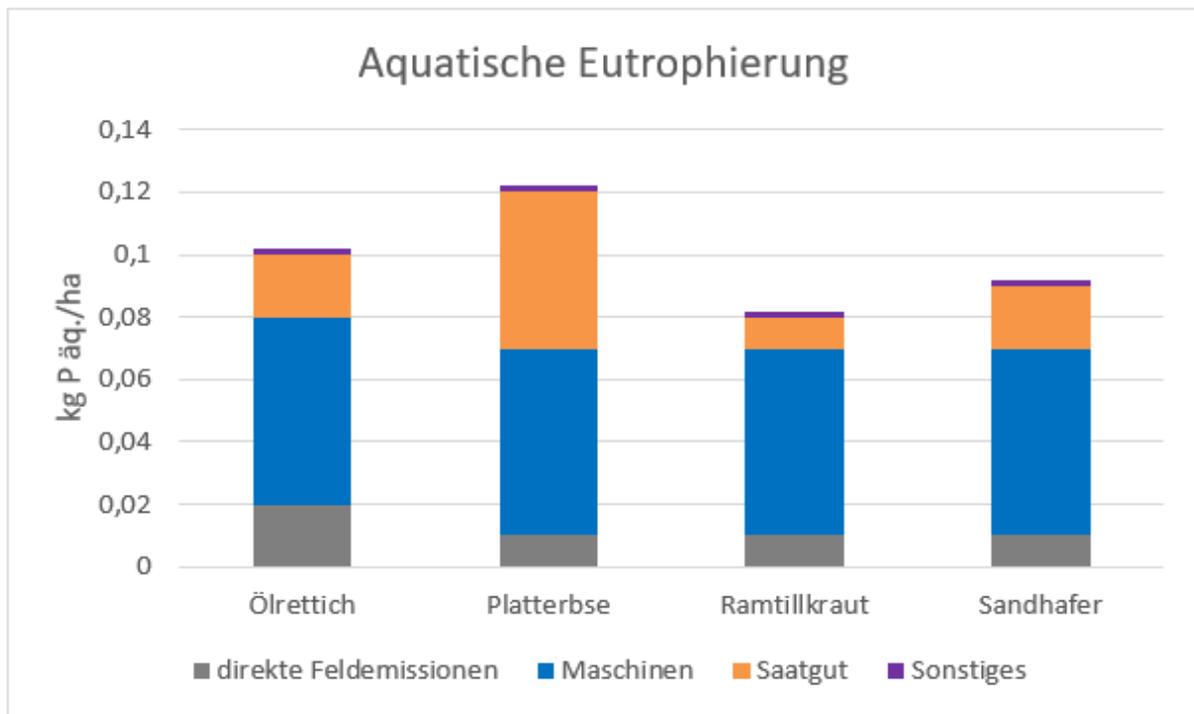


Abbildung 16 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur aquatischen Eutrophierung

### 5.2.4 Aquatische Ökotoxizität

Die Beitragsanalyse (Abbildung 17) zeigt, dass die aquatische Ökotoxizität vom Maschineneinsatz dominiert wird. Dieser macht mit 5,56 kg 1,4-DCB-äq./ha beim Ramtillkraut den größten Anteil von 84% und bei der Platterbse den niedrigsten Anteil von 60% aus. Die Anteile 74% beim Sandhafer und 78% beim Ölrettich liegen im Mittelfeld. Die Saatgutproduktion fällt bei der Platterbse mit 3,4 kg 1,4-DCB-äq./ha und 37% am schwersten, beim Ramtillkraut mit 0,73 kg 1,4-DCB-äq./ha und 11% am wenigsten ins Gewicht. Die Prozesse Grubbern und Säen verursachen jeweils nur 0,01 kg 1,4-DCB-äq./ha, was insgesamt nur 0,2% entspricht. Im Gegensatz zu den vorherigen Wirkungskategorien spielt hier „Sonstiges“ eine größere Rolle. Dies liegt an der Schuppenproduktion, die in diesem Fall 0,25 kg 1,4-DCB-äq./ha beträgt.

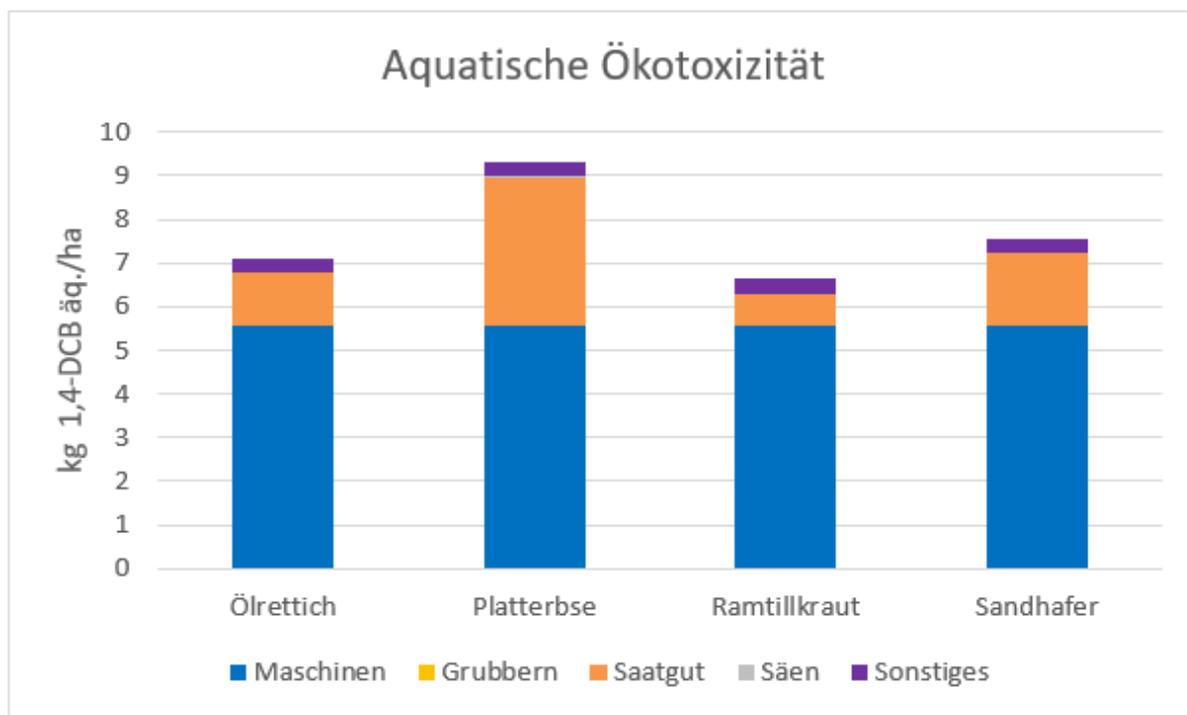


Abbildung 17 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur aquatischen Ökotoxizität

### 5.2.5 Humantoxizität

Die Wirkung der Humantoxizität entsteht vor allem durch die Emissionen des Maschineneinsatzes mit 164,6 kg 1,4-DCB-äq./ha, des Grubberns mit 142,4 kg 1,4-DCB-äq./ha und des Säens mit 121 kg 1,4-DCB-äq./ha (Abbildung 18). Dabei macht der Maschineneinsatz beim Ölrettich im Vergleich zu den anderen Zwischenfrüchten mit 32% den geringsten Anteil aus, gefolgt vom Sandhafer mit einem Anteil von 33%, von der Platterbse mit 36% und dem Ramtillkraut von 37%. Die Anteile, die jeweils das Grubbern und das Säen ausmachen, liegen zwischen 27% und 23% beim Ölrettich und 32% und 27% beim Ramtillkraut. Die Saatgutproduktion verursacht mit 83,6 kg 1,4-DCB-äq./ha bzw. 16% beim Ölrettich mit Abstand die höchsten Emissionen im Vergleich zu den anderen Zwischenfrüchten in dieser Beitragskategorie. Beim Sandhafer betragen diese 62,2 kg 1,4-DCB-äq./ha, bei der Platterbse 22,32 kg 1,4-DCB-äq./ha und beim Ramtillkraut 8,6 kg 1,4-DCB-äq./ha. Sonstiges macht 10,8 kg 1,4-DCB-äq./ha bzw. 2% der Humantoxizität aus.

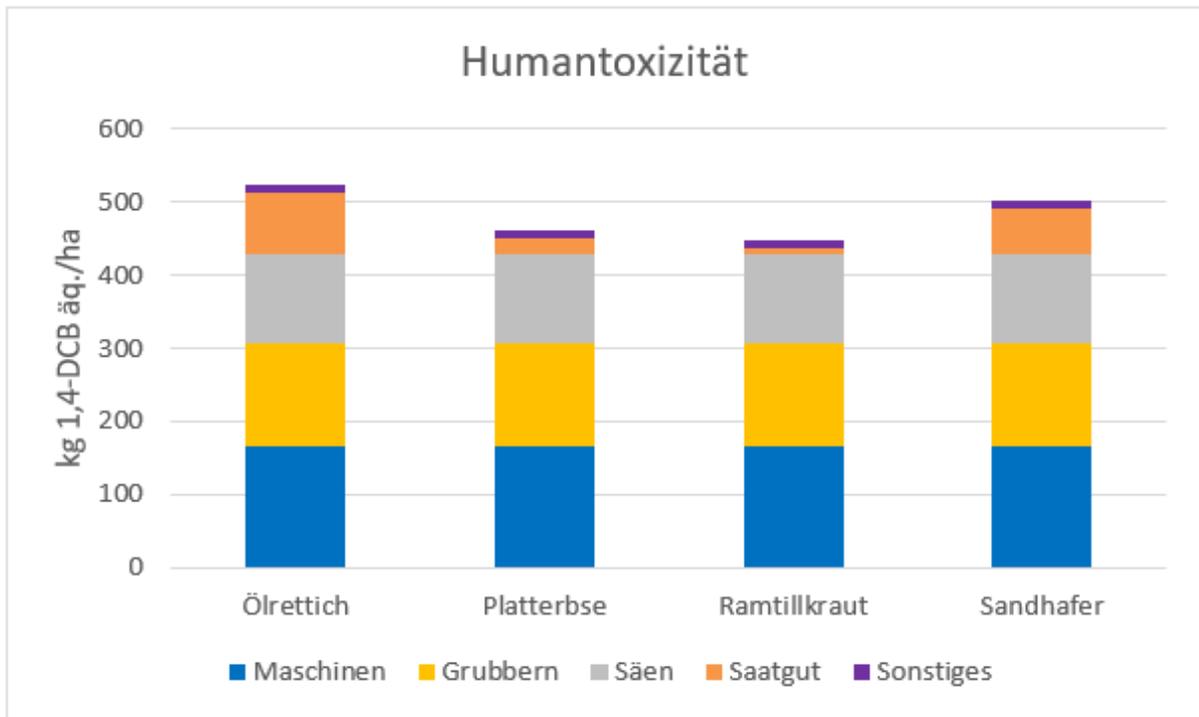


Abbildung 18 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur Humantoxizität

### 5.2.6 Knappheit fossiler Ressourcen

Da in dieser Beitragskategorie (Abbildung 19) der Dieserverbrauch eine große Rolle spielt, wird er hier extra angeführt. „Sonstiges“ beinhaltet hier nur die Schuppenproduktion. Der Maschineneinsatz trägt 26,9 kg Öl-äq./ha bei, der Dieserverbrauch 25,1 kg Öl-äq./ha. Beide Beitragskategorien zusammen ergeben beim Ramtillkraut 90%, beim Ölrettich 84%, beim Sandhafer 82% und bei der Platterbse 74%. Die Saatgutproduktion macht bei der Platterbse 17,5 kg Öl-äq./ha bzw. 25% aus, beim Ramtillkraut 5 kg Öl-äq./ha bzw. 9%. Bei Ölrettich und Sandhafer liegen die Werte in dieser Beitragskategorie mit 9,6 kg Öl-äq./ha bzw. 15% und 10,9 kg Öl-äq./ha bzw. 17% im Mittelfeld. Der Schuppen erreicht mit 0,52 kg Öl-äq./ha nur knapp 1% der Gesamtemission.

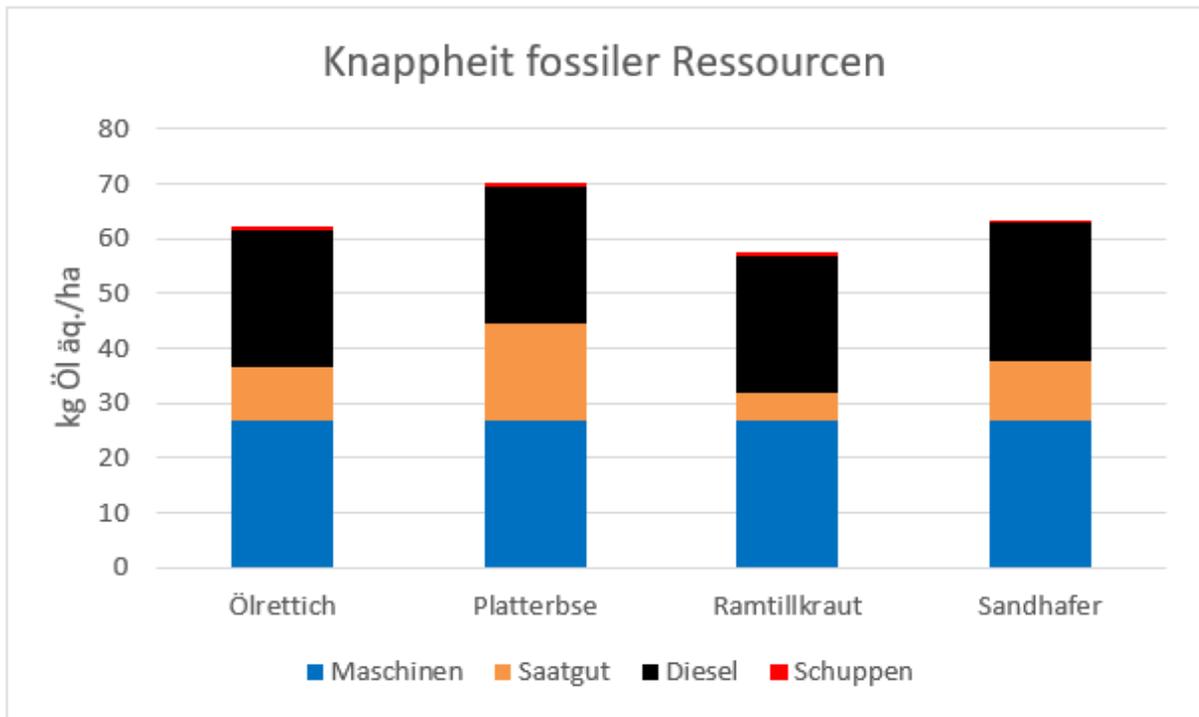


Abbildung 19 Beiträge der Zwischenfruchtssysteme zur Knappheit fossiler Ressourcen

### 5.2.7 Terrestrische Versauerung

In Abbildung 20 ist erkennbar, dass bei Ölrettich, Platterbse und Sandhafer die Saatgutproduktion mit 0,8 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha, mit 0,47 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha und mit 0,54 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha die meisten Emissionen zur terrestrischen Versauerung beiträgt. Beim Ramtillkraut liegen diese nur bei 0,1 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha. Bei dieser Zwischenfrucht spielt der Maschineneinsatz mit 0,39 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha bzw. einem Anteil von 42% die größte Rolle. Bei den anderen Zwischenfrüchten ergibt der Maschineneinsatz beim Ölrettich einen Anteil von 24%, bei der Platterbse einen Anteil von 30% und beim Sandhafer einen von 28%. Das Grubbern ist der drittgrößte Verursacher der terrestrischen Versauerung mit 0,28 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha. Das Säen verursacht 0,07 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha, bei der Platterbse 0,09 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha. Die Kategorie Sonstiges kommt auf 0,08 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha. Die direkten Feldemissionen machen nur 0,01 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha aus, was beim Ramtillkraut einem Anteil von 1%, bei den anderen Zwischenfrüchten einem Anteil von ca. 0,7% entspricht.

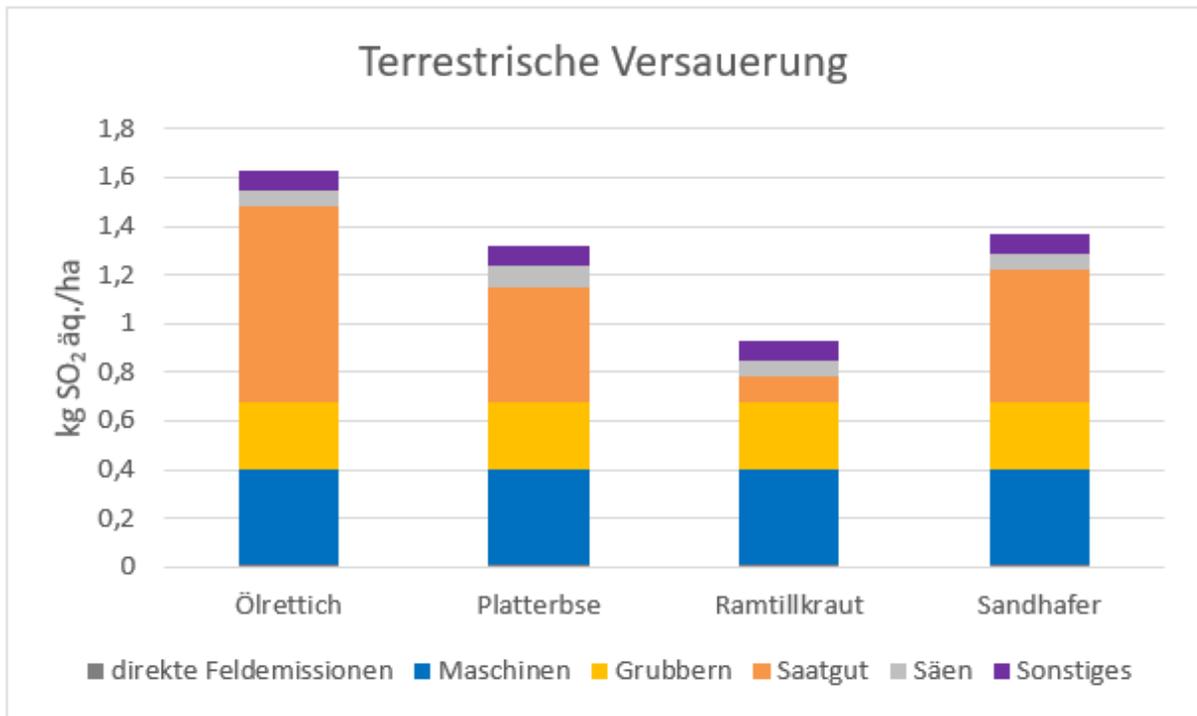


Abbildung 20 Beiträge der Zwischenfruchtsysteme zur terrestrischen Versauerung

### 5.3 Auswahl der zwei Zwischenfrüchte mit den besten Gesamtergebnissen

Da eine Auswertung aller fünf Sojasysteme den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird das Referenzszenario mit den zwei Sojaanbausystemen verglichen, deren Zwischenfruchtanbau die geringsten Umweltwirkungen erzielen.

Für die weiteren Berechnungen wurde das Sojasystem, bei dem das Ramtillkraut als Zwischenfrucht angebaut wurde, ausgewählt, da die Umweltwirkungen des Ramtillkrautanbaus in allen Kategorien, bis auf die des Globalen Treibhauspotenzials, am geringsten sind. Das zweite Sojasystem, das im Weiteren betrachtet wird, ist jenes mit dem Ölrettich als Zwischenfrucht. Der Anbau des Ölrettichs erreichte das zweitbeste Ergebnis. Dies wurde mittels Rangordnungsmethode, bei der alle Wirkungskategorien gleich gewichtet wurden, festgestellt.

## 5.4 Auswertung der Gesamtemissionen der drei betrachteten Sojaanbausysteme

Der Tabelle 11 und der Abbildung 21 sind die Gesamtemissionen des Sojaanbaus zu entnehmen. Die Bezeichnungen Brache, Ramtillkraut und Ölrettich in den Abbildungen stehen für das dem Sojasystem vorangegangenen System und beinhalten die Emissionen des gesamten Sojaanbaus inklusive Zwischenfruchtanbaus. Als Referenzsystem wird der Sojaanbau mit vorangegangener Brache herangezogen. Die Umweltwirkungen beziehen sich auf ein Kilogramm TM geernteten Soja. Der Soja, der nach einer Brache angebaut wird, hat in allen Wirkungskategorien die geringsten Emissionen. Beim globalen Treibhauspotenzial liegen diese beim Sojaanbau nach der Brache (SB) bei 0,41 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja, beim Sojaanbau nach dem Ramtillkraut (SR) bei 0,57 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja und beim Sojaanbau nach Ölrettich (SÖ) bei 0,53 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja. Bei der aquatischen Eutrophierung haben SR und SÖ mit jeweils 5,89E-05 kg P-äq./kg Soja und 5,95E-05 kg P-äq./kg Soja etwa gleich hohe Ergebnisse, während die Brache mit 4,19E-05 kg P-äq./kg Soja niedrigere Emissionen verursacht. Ähnlich sieht es bei der aquatischen Eutrophierung aus, bei der SR und SÖ jeweils 0,006 und 0,006 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja verursachen, SB nur 0,004 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja. Das Humantoxizitätspotenzial liegt bei 0,22 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja für SB, bei 0,31 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja für SR und bei 0,32 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja für SÖ. Bei der Wirkungskategorie Knappheit fossiler Ressourcen schneidet SÖ mit 0,04 kg Öl-äq./kg Soja am schlechtesten ab, gefolgt von SR mit 0,04 kg Öl-äq./kg Soja. SB schneidet auch hier am besten ab mit 0,03 kg Öl-äq./kg Soja. SÖ verursacht bei der terrestrischen Versauerung die höchsten Emissionen mit 0,001 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja, SB die niedrigsten mit 0,0006 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja. SR verursacht Emissionen von 0,0008 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja.

Tabelle 11 Vergleich der Gesamtemissionen der Sojasysteme je Wirkungskategorie im Jahr 2016

	Soja nach Brache	Soja nach Ramtillkraut	Soja nach Ölrettich
Globales Treibhauspotenzial [kg CO <sub>2</sub> -äq./kg Soja]	0,41	0,57	0,53
Aquatische Eutrophierung [kg P-äq./kg Soja]	4,19E-05	5,89E-05	5,95E-05
Aquatische Ökotoxizität [kg 1,4-DCB-äq./kg Soja]	0,004	0,006	0,006

Humantoxizität [kg 1,4-DCB-äq./kg Soja]	0,22	0,31	0,32
Knappheit fossiler Energieträger [kg Öl-äq./kg Soja]	0,03	0,04	0,04
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> -äq./kg Soja]	0,0006	0,0008	0,001

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in Abbildung 21 keine Unsicherheiten dargestellt. Diese können dem Anhang G entnommen werden.

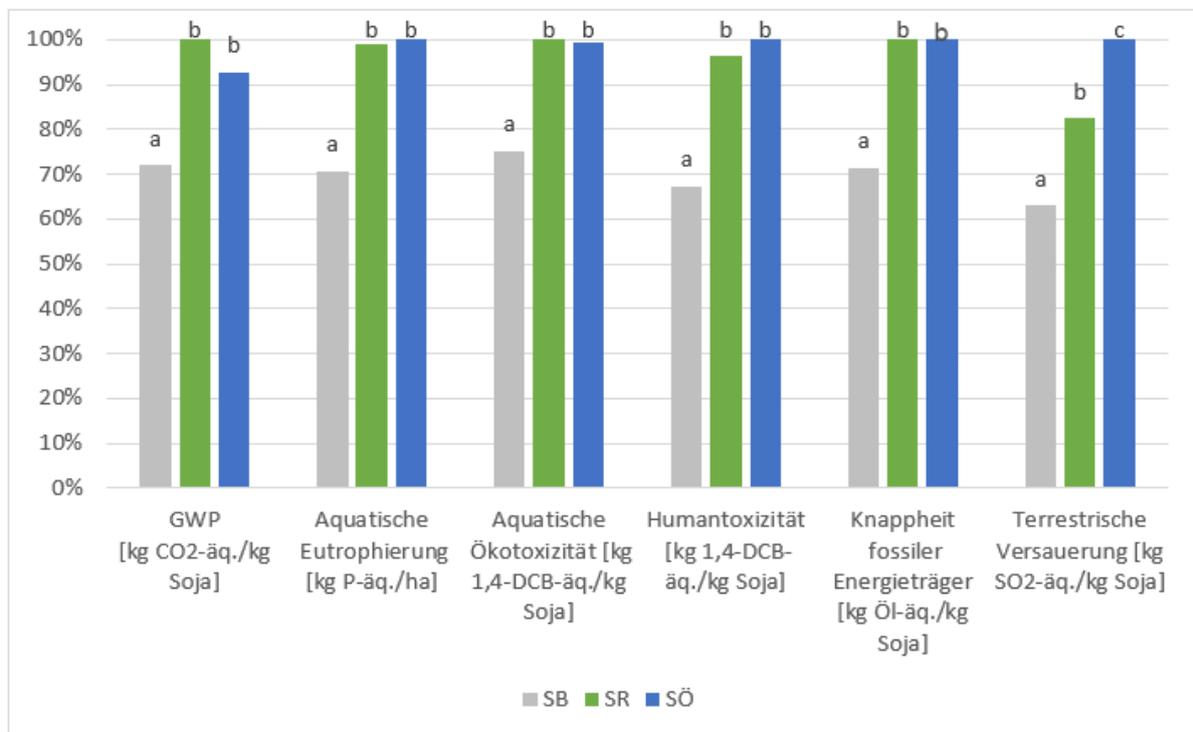


Abbildung 21 Relative Beiträge der drei Sojaanbausysteme je Wirkungskategorie im Jahr 2016

Die Unterschiede zwischen dem Sojasystem mit Brache und den Sojasystemen mit Zwischenfruchtanbau sind in allen Wirkungskategorien signifikant. Die Unterschiede der Ergebnisse zwischen dem Sojasystem mit Ölrettich als Zwischenfrucht bzw. mit Ramtillkraut als Zwischenfrucht weisen bei der Wirkungskategorie terrestrische Versauerung eine Signifikanz auf.

## 5.5 Beitragsanalyse der Sojaanbausysteme

In der Beitragsanalyse wird zwischen den Kategorien „Maschinen“, „Saatgut“, „Säen“, „Grubbern“, „Unkrautbekämpfung“, „Ernten“, „direkte Feldemissionen“, „Zwischenfruchtanbau/Brache (ZF/Brache)“ und „Sonstiges“ unterschieden. Die Kategorie „Sonstiges“ fasst die Emissionen der Dieselproduktion und des Schuppens für die landwirtschaftlichen Geräte, die Kategorie „Unkrautbekämpfung“ die Emissionen der Prozesse Hacken und Striegeln zusammen. Die Emissionen des Zwischenfruchtanbaus machen in allen Wirkungskategorien einen großen Teil der Gesamtemissionen aus. Da diese schon in den Kapiteln 5.3 und 5.4 ausführlich diskutiert wurden, wird darauf in diesem Kapitel nicht mehr eingegangen.

### 5.5.1 Globales Treibhauspotenzial

Die vorangegangenen Zwischenfruchtsysteme dominieren die Emissionen mit einem Anteil von 49% bei SR und 41% bei SÖ, wie in Abbildung 22 ersichtlich. Des Weiteren sind bei den Systemen SR und SÖ vor allem die direkten Feldemissionen mit 0,14 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja bzw. 24% und 0,16 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja bzw. 30% bestimmend. Bei SB machen die direkten Feldemissionen mit 0,15 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja mehr aus als die Emissionen der vorangegangenen Brache mit 0,11 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja. Die Saatgutproduktion der Sojabohnen ist mit 0,075 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja der drittgrößte Emissionsverursacher. Bei SR macht das einen Anteil von 13% des GWP 100 aus, bei SÖ 14% und bei SB 18%. Der Maschineneinsatz verursacht 0,032 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja, was bei SR und SÖ jeweils einem Anteil von 6%, bei SB von 8% entspricht. Unter den Feldarbeitsgängen trägt das Ernten mit 0,021 kg CO<sub>2</sub>-äq./kg Soja am meisten Emissionen bei. Alle übrigen Beitragskategorien kommen bei SR auf 4,6%, bei SÖ auf 4,6% und bei SB auf 6,2%.

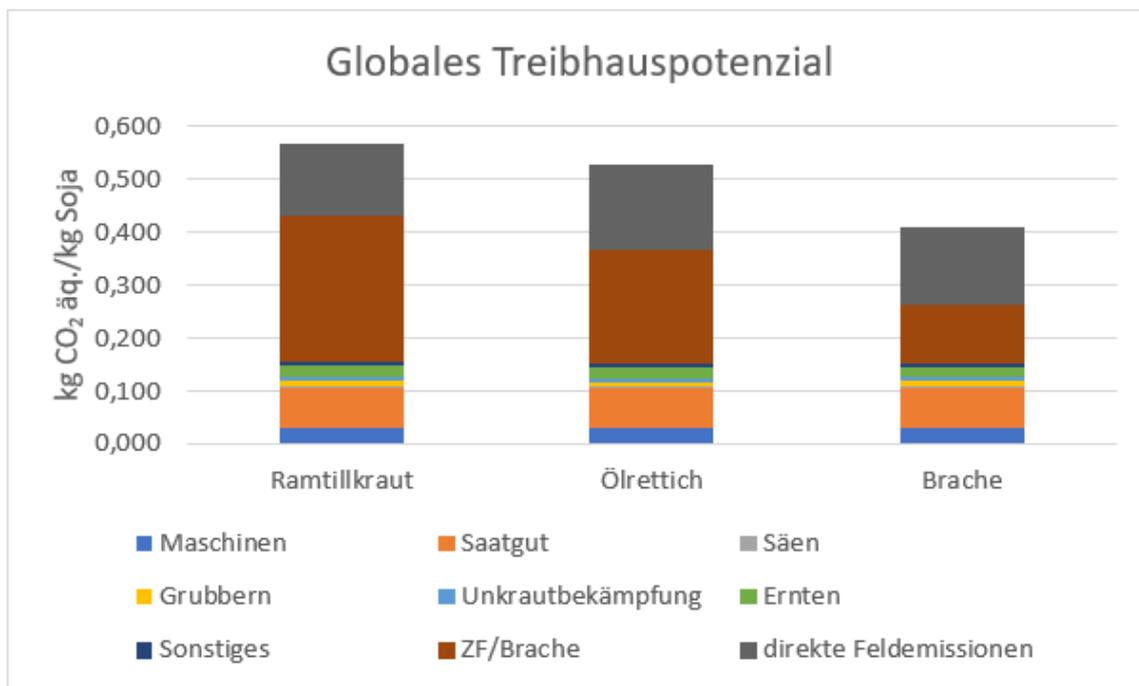


Abbildung 22 Beiträge der Sojaanbausysteme zum globalen Treibhauspotenzial

### 5.5.2 Aquatische Eutrophierung

Die aquatische Eutrophierung wird neben den Zwischenfruchtsystemen vor allem durch den Maschineneinsatz verursacht, der mit  $2,13E-05$  kg P-äq./kg Soja bei SR für 36% der Emissionen, bei SÖ für 35% und bei SB sogar für 51% verantwortlich ist (Abbildung 23). Die Saatgutproduktion macht mit  $1,0E-05$  kg P-äq./kg Soja bei SR und SÖ einen Anteil von 17%, bei SB von 24% aus. Sonstiges verursacht  $1,44E-06$  kg P-äq./kg Soja. Die direkten Feldemissionen erzeugen bei SR im Vergleich zu den anderen Sojasystemen mit  $1,87E-06$  die höchsten Emissionen, gefolgt von SÖ mit  $1,82E-06$  kg P-äq./kg Soja. Bei SB werden nur  $9,30E-07$  kg P-äq./kg Soja erzeugt.

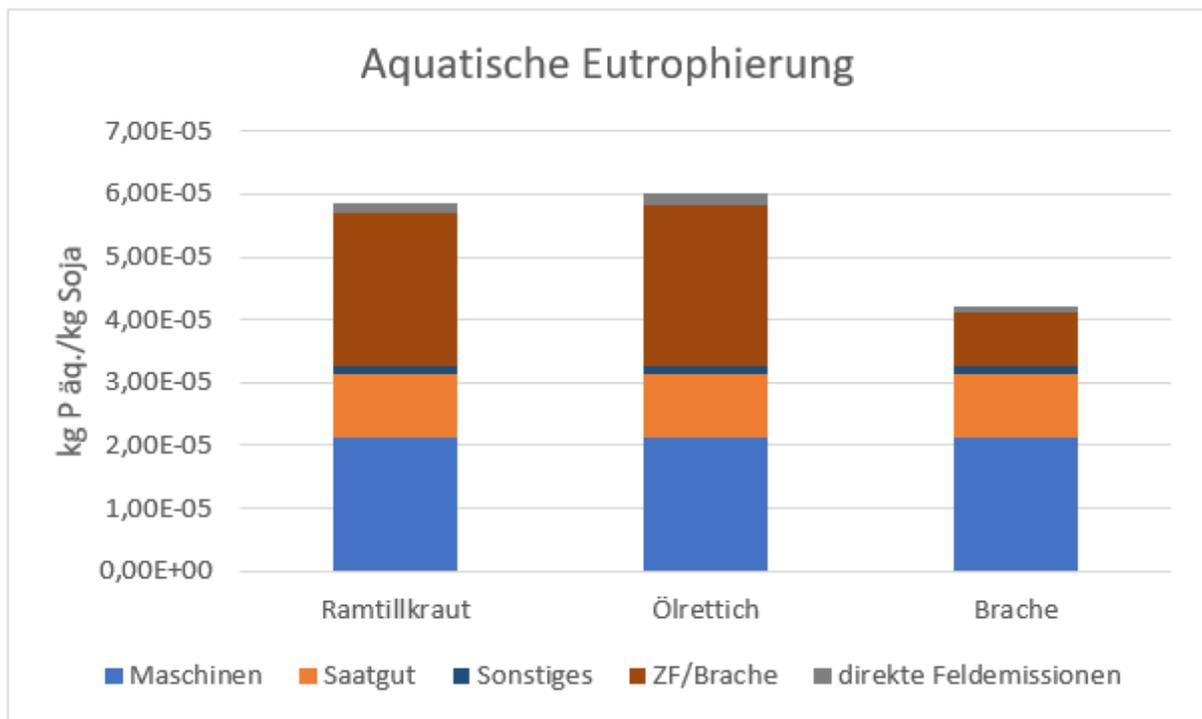


Abbildung 23 Beiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Eutrophierung

### 5.5.3 Aquatische Ökotoxizität

In Abbildung 24 ist zu erkennen, dass der Hauptverursacher der Emissionen zur aquatischen Ökotoxizität mit 0,003 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja der Maschineneinsatz ist. Dieser macht bei SB 61% aus, bei SR 47% und bei SÖ 46%. Die Zwischenfruchtsysteme sind die zweitgrößten Verursacher der aquatischen Ökotoxizität mit 32% bei SR und 33% bei SÖ. Bei SB erzeugt die vorangegangene Brache nur 11% der Gesamtemissionen. Auch bei dieser Wirkungskategorie spielt die Sojasaatgutproduktion mit 0,001 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja eine große Rolle. Sie kommt bei SB auf 22%, bei SÖ und SR auf jeweils 17%. Das Säen und die Unkrautbekämpfung machen zusammen 0,00003 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja aus, das entspricht einem Anteil von 0,7% bei SB und jeweils 0,5% bei SR und SÖ. Sonstiges verursacht bei SR und SÖ 3% des aquatischen Ökotoxizitätspotenzials, bei SB 4%.

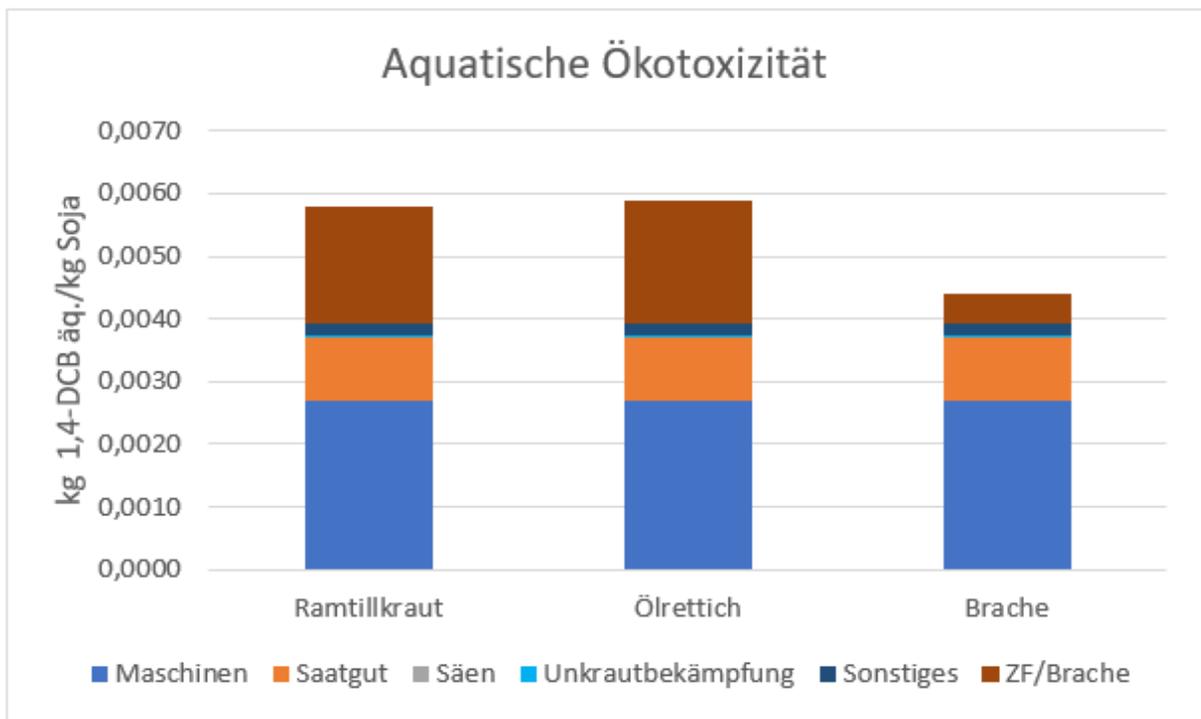


Abbildung 24 Beiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Ökotoxizität

### 5.5.4 Humantoxizität

Neben den vorangegangenen Zwischenfrucht-/Brachesystemen, die in allen drei Sojaanbausystemen die höchsten Emissionen verursachen, spielt der Maschineneinsatz mit 0,08 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja die größte Rolle bei der Humantoxizität (Abbildung 25). Dieser beträgt bei SR 25%, bei SÖ 21% und bei SB 28%. Das Ernten erzeugt unter den Feldarbeitsgängen die höchsten Emissionen von 0,04 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja, gefolgt vom Grubbern mit 0,02 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja, der Unkrautbekämpfung mit 0,015 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja und dem Säen mit 0,009 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja. Insgesamt machen die Feldarbeitsgänge 26% bei SR, 21% bei SÖ und 29% bei SB aus. Die Saatgutproduktion spielt mit 0,008 kg 1,4-DCB-äq./kg Soja und max. 3% an den Gesamtemissionen eine untergeordnete Rolle.

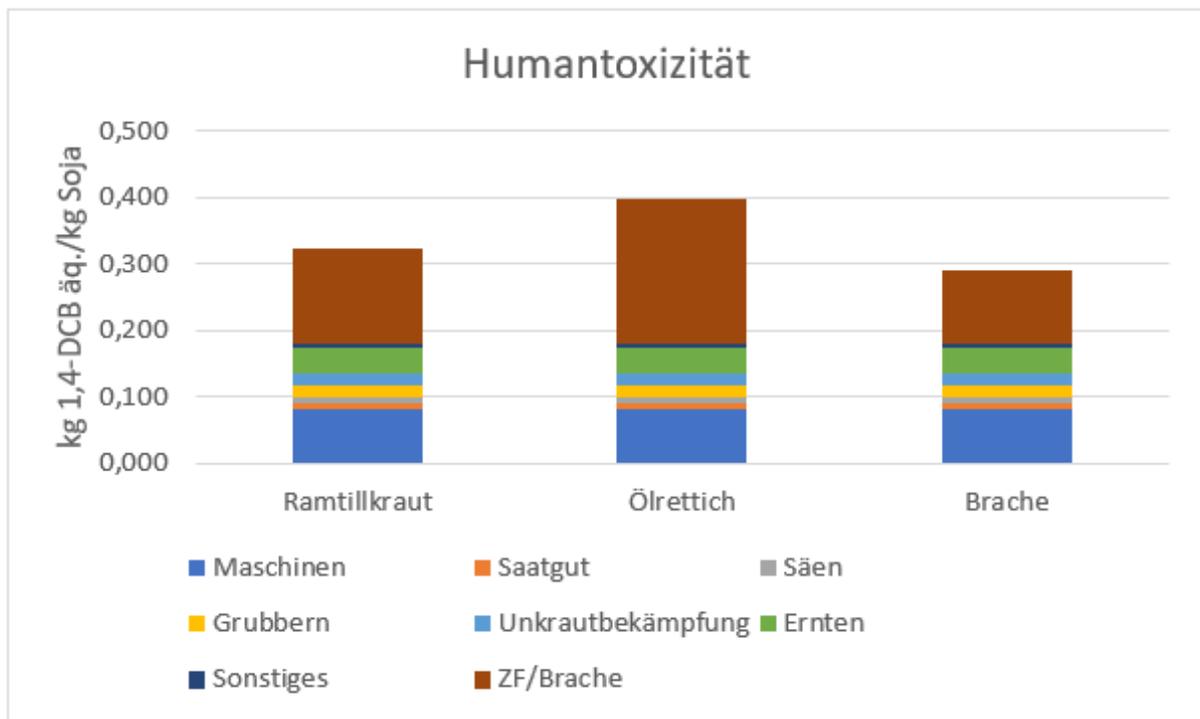


Abbildung 25 Beiträge der Sojaanbausysteme zur Humantoxizität

### 5.5.5 Knappheit fossiler Ressourcen

Die Wirkungskategorie Knappheit fossiler Ressourcen wird stark von der Kategorie Sonstiges geprägt, die mit dem Dieserverbrauch hohe Emissionen von 0,0135 kg Öl-äq./kg Soja erzeugt (Abbildung 26). Auf den Maschineneinsatz entfallen 0,008 kg Öl-äq./kg Soja. Dieser Wert macht beim SB 27% der Gesamtemission aus, bei SR und SÖ jeweils 19%. Die Saatgutproduktion ist für 0,003 kg Öl-äq./kg Soja verantwortlich. Der ZF-Anbau macht bei SR 39% und bei SÖ 40% der Gesamtemissionen aus, wogegen die Brache bei SB nur für 15% der Emissionen in dieser Kategorie verantwortlich ist.

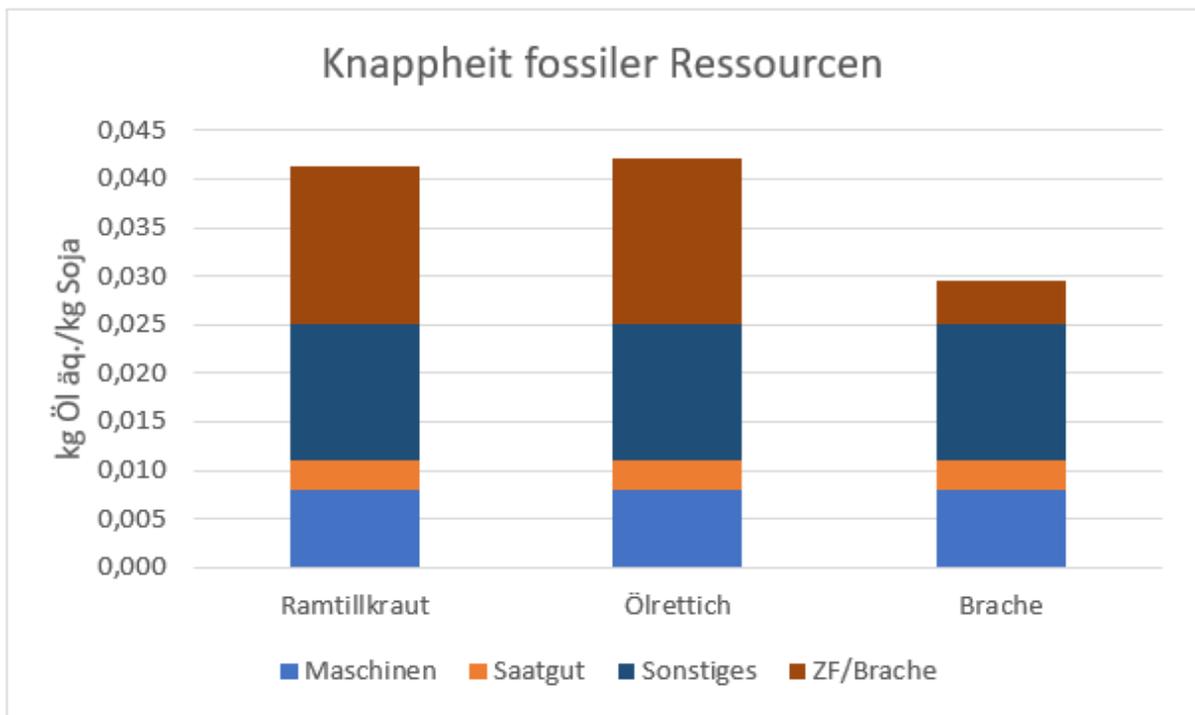


Abbildung 26 Beiträge der Sojaanbausysteme zur Knappheit fossiler Ressourcen

### 5.5.6 Terrestrische Versauerung

Der Hauptverursacher für die terrestrische Versauerung (Abbildung 27) ist neben den ZF/Brache-Systemen mit 31% Anteil bei SR, 44% Anteil bei SÖ und 12% Anteil bei SB, die Saatgutproduktion mit 0,002 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja. Diese verursacht bei SR 18%, bei SÖ 15% und bei SB 23% der Emissionen. Der Maschineneinsatz kommt auf 0,00014 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja, gefolgt von den Emissionen der Ernte mit 0,00013 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja. Die restlichen Feldarbeitsgänge - Säen, Grubbern, Unkrautbekämpfung - machen insgesamt 0,00011 SO<sub>2</sub>-äq./kg Soja aus. Das entspricht 13% bei SR, 11% bei SÖ und 17% bei SB.

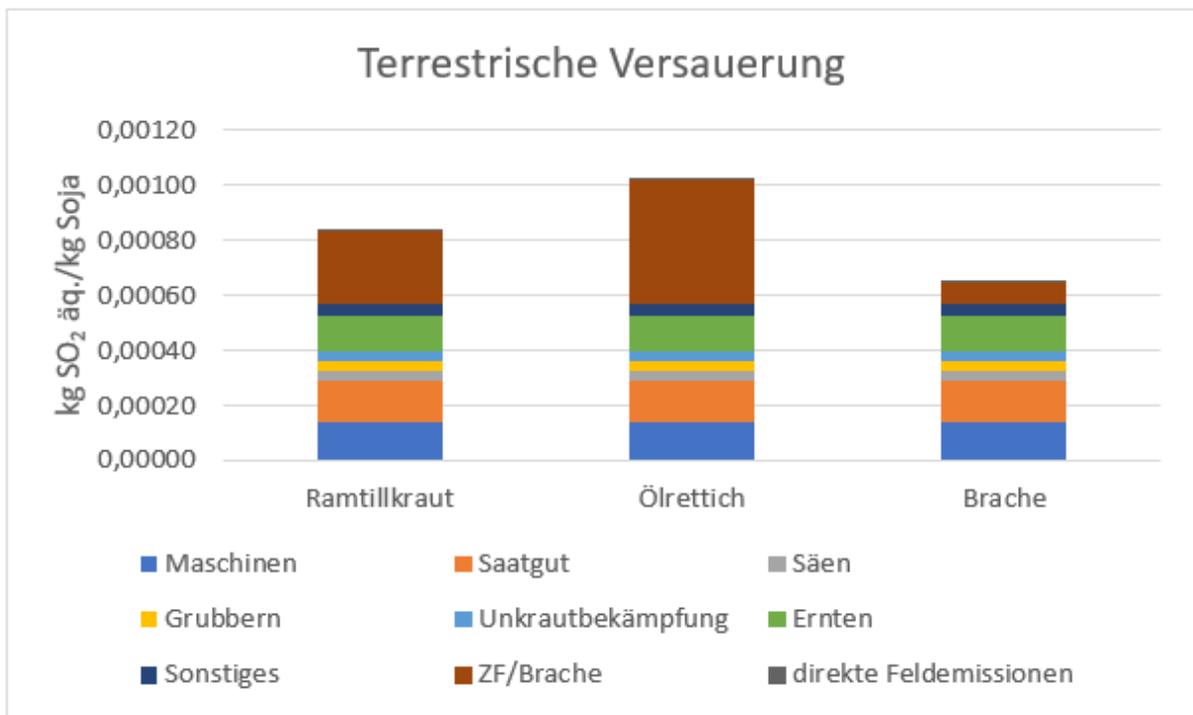


Abbildung 27 Beiträge der Sojaanbausysteme zur terrestrischen Versauerung

## 5.6 Sensitivitätsanalyse

In diesem Kapitel werden die drei durchgeführten Sensitivitätsanalysen beschrieben. Diese wurden gemacht, um zu zeigen, inwiefern sich die Ergebnisse ändern würden, wenn wichtige Parameter verändert werden.

### 5.6.1 Mineraldüngeräquivalent

Da der abgebildete Versuch keine Düngung enthält, wird in dieser Sensitivitätsanalyse berechnet, wie sich die Umweltwirkungen der betrachteten Wirkungskategorien ändern würde, wenn angenommen wird, dass der Soja nach der Brache gedüngt werden muss. Das Modell DNDC kann zwar die Stickstoffaufnahme der Zwischenfrüchte berechnen, jedoch geht nicht hervor in welchem Ausmaß der Stickstoff für die Folgekultur zur Verfügung steht. Nach der Anlage 2, Tabelle 2 der novellierten deutschen Düngerverordnung (2017) können den Zwischenfrüchten Ölrettich, Ramtillkraut und Sandhafer 20 kg Stickstoff pro Hektar für die Nachlieferung an die Folgekultur angerechnet werden. Nach der Leguminose Platterbse können bis zu 40 kg Stickstoff pro Hektar für die Folgekultur pflanzenverfügbar sein. Mittels DNDC werden für die zwei Düngezenarien die Feldemissionen simuliert. Diese fließen wiederum in die Berechnungen von openLCA ein, womit die Umweltauswirkungen für

die Sojasysteme mit dem Einsatz von synthetischem Ammoniumnitrat berechnet werden. Die Prozesse für die Mineraldüngerherstellung und die Düngerausbringung stammen von ecoinvent (2017). Tabelle 12 zeigt die Umweltauswirkungen von Sojasystemen, wenn sie mit 20 kg bzw. mit 40 kg Stickstoff gedüngt werden im Vergleich zu einer Gründüngung durch eine Nicht-Leguminose (Ramtillkraut) und einer Leguminose (Platterbse).

Tabelle 12 Vergleich der Umweltwirkungen der Varianten mit Mineraldüngereinsatz im Vergleich zum Zwischenfruchtanbau als Gründüngung

	Soja nach Ramtillkraut	Brache + 20 kg N	Differenz [%]	Soja nach Platterbse	Brache +40 kg N	Differenz [%]
GWP [kg CO <sub>2</sub> - äq./kg Soja]	0,57	0,5	-13	0,68	0,52	-23
Aquatische Eutrophierung [kg P- äq./kg Soja]	5,89E-05	6,44E-05	+9	2,35E-05	6,79E-05	+189
Aquatische Toxizität [kg 1,4-DCB- äq./kg Soja]	0,006	0,007	+16	0,003	0,008	+196
Humantoxizität [1,4-DCB- äq./kg Soja]	0,31	0,39	+24	0,16	0,43	+167
Knappheit fossiler Ressourcen [kg Öl- äq./kg Soja]	0,04	0,06	+32	0,02	0,07	+220
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> - äq./kg Soja]	0,0008	0,0026	+215	0,0004	0,0029	+662

Wie aus der Tabelle 12 ersichtlich, schneiden die Varianten mit Mineraldüngereinsatz in allen Kategorien, bis auf das globale Treibhauspotenzial, schlechter ab als die Variante mit Gründüngung.

Tabelle 13 beinhaltet die mit DNDC berechneten Stickstofffeldemissionen für die zwei Düngungsszenarien.

Tabelle 13 Vergleich der Stickstoffemissionen der Simulation mit DNDC mit einer Stickstoffdüngung des Sojas mit 20 kg und mit 40 kg

	Sojaanbau nach Brache mit 20 kg N-Dünger	Sojaanbau nach Brache mit 40 kg N-Dünger
N <sub>2</sub> O	0,024	0,024
NO	0,01	0,01
NH <sub>3</sub>	1,8	1,84
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,34	4,66
Stickstoffaufnahme des Sojas	87,68	87,68

### 5.6.2 Vergleich der Gesamtemissionen bei der Hauptfrucht Mais statt Soja

Für das Aufzeigen der Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf die Stickstoffdynamiken stellt Soja durch seine Fähigkeit Stickstoff zu binden keine gute Hauptfrucht dar. Um den Effekt einer Gründüngung besser darzustellen, wurde eine Sensitivitätsanalyse mit Mais als Hauptfrucht im Jahr 2016 durchgeführt. Dabei wurde ein Ertrag von 10 t TM/ha angenommen. Diese Angaben stammen von der Datenbank aus DNDC. Der Anbauzeitraum wurde mit 01.05- 20.10 festgelegt. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass 30 kg/ha Saatgut ausgebracht wird. Es wurden die Umweltwirkungen des Maisanbaus nach einer Brache und nach Ölrettich berechnet. Aus Tabelle 14 wird ersichtlich, dass der Maisanbau nach Ölrettich in allen Wirkungskategorien leicht höhere Gesamtemissionen erzielt als nach der Brache. Dies könnte wieder auf den zusätzlichen Saatgut- und Maschineneinsatz zurückzuführen sein. Werden die Emissionen der Simulation mit DNDC betrachtet, schneidet der Maisanbau nach Ölrettich jedoch um 20-85% besser ab als nach Brache.

Tabelle 14 Vergleich der Gesamtemissionen zwei Maisanbausysteme je Wirkungskategorie und Vergleich der Ergebnisse für den Maisanbau aus DNDC des Anbauzeitraums 01.05-20.10

<b>Gesamtemissionen</b>	Mais nach Brache	Mais nach Ölrettich
GWP [kg CO <sub>2</sub> - äq./kg Mais]	0,14	0,17
Aquatische Eutrophierung [kg P- äq./kg Mais]	1,33E-05	1,97E-05

Aquatische Toxizität [kg 1,4-DCB- äq./kg Mais]	0,0014	0,0019
Humantoxizität [1,4-DCB -äq./kg Mais]	0,08	0,12
Knappheit fossiler Ressourcen [kg Öl- äq./kg Mais]	0,01	0,02
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> - äq./kg Mais]	0,0002	0,0003
<b>Emissionen v. DNDC</b>		
Boden-CO <sub>2</sub>	649	543,42
NO	0,008	0,001
N <sub>2</sub> O	0,02	0,01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,52	0,1
PO <sub>4</sub>	0,001	0,003

### 5.6.3 Ersatz des Traktors Steyr CVT durch einen kleineren Traktor der ecoinvent Datenbank

Da der Steyr CVT für die Anwendungen in dem Feldversuch überdimensioniert war, wurden die Umweltauswirkungen mit einem kleineren Traktor mit einem Gewicht von 3000 kg verglichen. Die Daten des Traktors stammen von ecoinvent 3.4 (2017). Der Tabelle 15 ist zu entnehmen, dass in allen Wirkungskategorien mindestens 50% der Emissionen eingespart werden können, wenn mit dem kleineren Traktor gegrubbert wird.

Tabelle 15 Vergleich der Umweltauswirkungen des Grubberprozesses je Wirkungskategorie, einmal mit Steyr CVT und einmal mit ecoinvent Traktor

	Steyr CVT	Ecoinvent tractor, 4-wheel, agricultural	Differenz
GWP [kg CO <sub>2</sub> - äq./ha]	14,398	5,096	-65%
Aquatische Eutrophierung [kg P- äq./ha]	0,00886	0,00348	-61%
Aquatische Toxizität [kg 1,4-DCB- äq./ha]	1,324	0,616	-54%

Humantoxizität [1,4-DCB- äq./ha]	35,551	16,206	-54%
Knappheit fossiler Ressourcen [kg Öl- äq./ha]	4,206	1,638	-61%
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> -äq./ha]	0,06	0,023	-62%

## 5.7 Diskussion und Schlussfolgerungen

Eine Auffälligkeit in den Daten sind die hohen Werte der direkten Feldemissionen beim globalen Treibhauspotenzial. Diese kommen von den hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die DNDC errechnet hat. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen durch, im Boden stattfindende, Umsetzungsprozesse. Yadav und Wang (2017) haben mittels DNDC die CO<sub>2</sub> Emissionen landwirtschaftlicher Böden in Kanada simuliert. In ihren gedüngten Feldversuchen liegen beim Anbau von Mais die Werte zwischen 1732,19 kg CO<sub>2</sub> im Jahr 2013 und 3469,32 kg CO<sub>2</sub> im Jahr 2014. Demnach liegen die in dieser Arbeit modellierten Werte auf einem plausiblen Niveau.

Im Gegensatz zu den bodenbürtigen CO<sub>2</sub>-Emissionen fallen die simulierten Stickstoffflüsse sehr gering aus. Ein Grund für die niedrigen Emissionen, die in der Form nicht in der Literatur zu finden sind, kann sein, dass im Versuch und in der Annahme der erweiterten Fruchtfolge für DNDC keinerlei Düngung stattfindet. Des Weiteren ist der Stickstoffpool mit dem das Modell zu rechnen beginnt mit 35 kg N/ha ebenfalls niedrig. Diese Annahme wurde in Absprache mit der Versuchsleitung in Groß- Enzersdorf getroffen und liegt deshalb bei dem Wert, da oft stickstoffzehrendes Getreide angebaut wird.

Bodner geht davon aus, dass eine Reduzierung der Stickstoffauswaschung um bis zu 25% durch Zwischenfruchtanbau möglich ist, abhängig von der Menge aufgenommenen Stickstoffs durch die Pflanze. Je nach Biomasseaufwuchs bzw. je nach Pflanzenart beträgt die Stickstoffaufnahme zwischen 20 und 150 kg N/ha. Die simulierte Aufnahme von Stickstoff durch die im Versuch betrachteten Zwischenfrüchte beträgt zwischen 13,3 kg N/ha beim Ölrettich und 51,6 kg N/ha bei der Platterbse im Anbauzeitraum Juli 2014- April 2015.

Wie bei Prechsl et al. (2017) hatte die Kultivierung von Gründüngung auf das globale Treibhauspotenzial einen negativen Einfluss. Bei Prechsl waren diese Unterschiede im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit jedoch nur gering. Hier können die Unterschiede vor allem auf den zusätzlichen Energieverbrauch und die hohen CO<sub>2</sub> Emissionen zurückgeführt werden. Im Vergleich zu Prechsl sind die NO<sub>2</sub> Emissionen bei der Brache jedoch höher bzw. gleich hoch wie bei den Zwischenfrüchten. Die marine Eutrophierung wird, ebenfalls wie bei Prechsl, durch die Nitratauswaschung und die Produktion von Saatgut verursacht. Bis auf die Platterbse, bei der die Saatgutproduktion einen besonders hohen Einfluss auf die Wirkungskategorie hat, schneidet in dieser Kategorie die Brache am schlechtesten ab. Prechsl begründet dies durch die Stickstoffaufnahme der Zwischenfrüchte in den auswaschungsgefährdeten Monaten. Goglio et al. (2014) errechnen in ihrer Studie eine Einsparung an Ammoniak und Nitratverlusten von 10-20% durch den Zwischenfruchtanbau. In einem Vergleich mit den Tabellen 5 und 6 sieht man, dass es über den Herbst und Winter zu einer Reduktion der Nitratauswaschung von 73 bis 93% kam, die Zwischenfrüchte jedoch keinen bis einen leicht negativen Einfluss auf die Auswaschung in der Zeit des Sojaanbaus hatten. Die marine Eutrophierung konnte bei den Zwischenfrüchten, bis auf die Platterbse, im Vergleich zur Brache um 25-65% reduziert werden.

In der Studie von Hayer et al. (2011) wird festgehalten, dass versauernde Emissionen vor allem durch Feldemissionen und Bodenbearbeitungsprozesse entstehen. Ergänzend dazu fällt in dieser Arbeit noch die Saatgutproduktion der Zwischenfrüchte ins Gewicht. Durch diese Faktoren schneidet in der Wirkungskategorie terrestrische Versauerung das Sojasystem mit vorangegangener Brache um 24% besser als im Vergleich zum System mit Ramtillkraut bzw. um 37% besser als im Vergleich zum System mit Ölrettich ab. Ein Vergleich zu den Ergebnissen von Hayer et al. kann nicht gezogen werden, da dort die Einheit m<sup>2</sup> versauerter Boden verwendet wurde.

Das aquatische Ökotoxizitätspotential von Senf und Phacelia liegt in der Studie von Hayer et al. bei 1,27 kg 1,4-DCB-äq./ha. Mit Werten von 1,73 kg 1,4-DCB-äq./ha bei der Brache bis zu 9,3 kg 1,4-DCB-äq./ha bei der Platterbse wird dieser Richtwert weit überstiegen. Verursacht wird die aquatische Ökotoxizität vor allem durch Schwermetalle, die durch den Maschineneinsatz in die Umwelt gelangen. In dieser Arbeit ist der Maschineneinsatz auch der Hauptverursacher der hohen Emissionen in dieser Kategorie.

Markant in den Ergebnissen ist der hohe Einfluss der Saatgutproduktion in einigen Wirkungskategorien. Bei der marinen Eutrophierung macht dieser zwischen 63% und 93% der Emissionen aus, bei Prechsl et al. nur 5%. Auch die Ergebnisse für die aquatische Ökotoxizität werden von der Saatgutproduktion stark beeinflusst. Diese macht zwischen 11% und 37% der Emissionen aus, bei Prechsl et al. (2017) kommen die durch die Saatgutproduktion verursachten Emissionen auf nur ca. 8%.

Beim Energieeinsatz macht die Saatgutproduktion bei Hayer et al. bei Phacelia 6%, beim Senfanbau 13% aus. Bei der ähnlichen Wirkungskategorie Knappheit fossiler Ressourcen, die in dieser Arbeit betrachtet wird, macht die Saatgutproduktion zwischen 9% und 25% aus.

Beim GWP 100 hat die Saatgutproduktion bei Prechsl et al. (2017) im biologischen Ackerbau 8% ausgemacht. In dieser Wirkungskategorie liegen die Anteile der Ergebnisse der Saatgutproduktion zwischen 2% beim Ramtillkraut und 7% beim Ölrettich und Sandhafer.

Für die Berechnung der Saatgutproduktion wurde auf Ökoinventare von ecoinvent zurückgegriffen, die sich auf ein Kilo Saatgut beziehen. An ihnen wurden nur die Saatgutmengen angepasst. Weshalb die Emissionen so hoch ausfallen, konnte auch nach näherer Betrachtung der Prozesse nicht erklärt werden.

Im Generellen ist es schwierig Aussagen, über die Wirkung von Zwischenfrüchten zu machen, da diese oft indirekt oder verzögert eintreten. Ein hoher Wert liegt darin, dem Boden Kohlenstoff zuzuführen und somit zur Kohlenstoffsequestrierung beizutragen (Prechsl). Diese Wirkung kann jedoch nur in einem langjährigen Versuch nachgewiesen werden.

Die positiven Effekte, die Zwischenfrüchte als Gründüngung mit sich bringen sollen, konnten in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Bei der Betrachtung der Sojaanbausysteme schnitten die Systeme mit vorangegangenem Zwischenfruchtanbau in allen Wirkungskategorien schlechter ab als das System mit vorangegangener Brache. Dies ist auf die zusätzlichen Feldarbeitsgänge und die Saatgutproduktion für die Zwischenfrüchte zurückzuführen. Nur in der Wirkungskategorie marine Eutrophierung schnitten die drei Zwischenfruchtssysteme Ramtillkraut, Ölrettich und Sandhafer besser ab als die Brache, da gemäß der Berechnungen von DNDC weniger Nitrat ausgewaschen wurde.

Da die Saatgutproduktion in manchen Wirkungskategorien ungewöhnlich hohe Emissionen und die Simulation mit DNDC bei den errechneten Stickstoffparametern im Gegensatz dazu sehr niedrige Emissionen ergeben haben, können aus den Resultaten dieser Arbeit keine Handlungsempfehlung an die Praxis abgegeben werden. Die Integration der Ergebnisse von DNDC in die Berechnungen mit openLCA konnte erfolgreich durchgeführt werden, auch wenn die Resultate der Simulation kritisch zu hinterfragen sind.

## 6 Weiterführende Arbeiten

Eine Besonderheit des Versuchs, der in dieser Arbeit bilanziert wurde, ist die extensive Bewirtschaftung ohne den Einsatz eines Düngers. In der Literatur wird oftmals empfohlen die Zwischenfrüchte zu düngen, damit sich diese besser entwickeln können. Durch eine Düngung der Zwischenfrüchte ist somit mit mehr Biomasseaufwuchs zu rechnen, weshalb es im Frühling angebracht wäre zu mulchen. Diesen Prozess in die Berechnungen zu integrieren, wäre eine weitere Möglichkeit ein praxisnäheres Bild zu zeichnen. Eine Studie, die die Wirkung der behandelten Zwischenfrüchte inklusive Düngung betrachtet, wäre daher zu empfehlen.

Weiters wäre es ratsam eine Studie zu machen, in der eine andere Hauptfrucht als Soja bzw. stickstoffzehrende Hauptfrucht verwendet wird. Dadurch könnten die Auswirkungen der Zwischenfrüchte auf den Stickstoffkreislauf während der Vegetationsphase der Hauptfrucht besser sichtbar gemacht werden.

Die Anwendung bzw. Integration des Agrarsimulationsmodells DNDC in die Ökobilanzierung sollte in Österreich weiter getestet und vermehrt eingesetzt werden, um standortspezifische Agrarökobilanzen zu bekommen. Da besonders die Ergebnisse der Stickstoffemissionen in der Simulation sehr niedrig ausgefallen sind, wäre es interessant das Modell mit verschiedenen Fruchtfolgen und Parametereinstellungen für österreichische Verhältnisse zu testen. Da DNDC eine Vorlaufzeit von mindestens 2 Jahren braucht bzw. präzisere Simulationen durchführen kann, je länger der betrachtete Zeitraum ist, sollten möglichst mehrjährige Versuche betrachtet werden.

## 7 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, das Agrarsimulationsmodell DNDC (DeNitrification DeComposition) in die Ökobilanzierung von vier verschiedenen Zwischenfruchtsystemen zu integrieren. Dabei werden die Umweltwirkungen des Anbaus der Zwischenfrüchte Ölrettich (*Raphanus sativus*), Platterbse (*Lathyrus sativus*), Sandhafer (*Avena strigosa*) und Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*) zum einen als eigenständige Systeme und zum anderen in Verbindung mit Soja als Hauptfrucht untersucht. Als Referenzsystem dient eine Brache. Die direkten Feldemissionen werden mittels DNDC berechnet. Die Ergebnisse dieser Simulation fließen in die Ökobilanz ein, die mit Hilfe der Software openLCA Version 1.8 (GreenDelta GmbH, 2018) unter Verwendung der ecoinvent Datenbank (ecoinvent Version 3.4, 2017) erstellt wird. Mit der Wirkungsabschätzungsmethode „ReCiPe 2016 Midpoint (H)“ werden folgende Wirkungskategorien untersucht: Globales Treibhauspotenzial, aquatische Eutrophierung, marine Eutrophierung, aquatische Ökotoxizität, Knappheit fossiler Ressourcen, Humantoxizität und terrestrische Versauerung. Die in dieser Arbeit verwendeten Primärdaten stammen aus den Jahren 2015 und 2016 von einem Feldversuch der BOKU Wien in Groß- Enzersdorf. Zur Bestimmung der Unsicherheiten werden Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt und drei Sensitivitätsanalysen zu ausgewählten Parametern gemacht.

Es werden vor allem die Daten aus dem Jahr 2016 im Detail betrachtet, da es in diesem Jahr Daten aller vier Zwischenfrüchte gibt, im Jahr 2015 nur von Ölrettich und Platterbse. Die Ergebnisse der Betrachtung der Zwischenfruchtsysteme des Jahres 2016 zeigen, dass diese nur bei der Wirkungskategorie der **marinen Eutrophierung** besser abschneiden als die Brache. Diese kommt auf 0,57 kg N-äq./ha. Nur die Platterbse schneidet mit 0,6 kg N-äq./ha durch hohe Emissionen bei der Saatgutproduktion schlechter ab. Die NitratAuswaschung ist bei der Brache 4-14 mal so hoch wie bei den Zwischenfrüchten. Beim **globalen Treibhauspotenzial** hat die Platterbse mit 1867,04 kg CO<sub>2</sub>-äq./ha die höchsten Emissionen, die vor allem durch die direkten Feldemissionen bzw. die hohen Boden-CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen. Bei der **aquatischen Eutrophierung** und der **aquatischen Ökotoxizität** hat jeweils der Maschineneinsatz den größten Einfluss auf die Ergebnisse mit 0,06 kg P-äq./ha bzw. 5,56 kg 1,4-DCB-äq./ha. Auch bei der **Humantoxizität** ist das Ergebnis der Brache mit 119,79 kg 1,4-DCB-äq./ha mit Abstand am niedrigsten, während der Ölrettich mit 521,78 kg 1,4-DCB-äq./ha das schlechteste Ergebnis erzielt. Die Emissionen werden

vor allem durch den Maschineneinsatz, das Grubbern und das Säen erzielt. Die Umweltwirkung der Kategorie **Knappheit fossiler Energieträger** ist bei der Platterbse mit 70,19 kg Öl-äq./ha am höchsten, bei der Brache mit 15,89 kg Öl-äq./ha am niedrigsten. Sie wird am meisten durch den Maschineneinsatz und den Dieserverbrauch erzeugt. Die **terrestrische Versauerung** ist mit 0,27 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha für die Brache am geringsten. Bei den Zwischenfrüchten schneidet das Ramtillkraut mit 0,92 kg SO<sub>2</sub>-äq./ha am besten ab. Bei den anderen drei Zwischenfrüchten fallen die Emissionen durch die Saatgutproduktion höher aus.

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der Zwischenfrüchte schneiden das Ramtillkraut und der Ölrettich am besten ab. Im Weiteren werden die Ergebnisse des Sojaanbaus mit diesen beiden Zwischenfrüchten und mit einer vorangegangenen Brache beschrieben.

Das **globale Treibhauspotenzial** wird wie schon bei den Zwischenfrüchten vor allem durch die direkten Feldemissionen verursacht. Auch bei der **aquatischen Eutrophierung** und der **aquatischen Ökotoxizität** der Hauptverursacher wie schon bei der Betrachtung der Zwischenfruchtsysteme der Maschineneinsatz. Auch bei der **Humantoxizität** erzielt der Maschineneinsatz mit 25% beim Sojasystem mit Ramtillkraut, mit 21% beim Sojasystem mit Ölrettich und mit 28% beim Sojasystem mit Brache einen hohen Anteil an den Gesamtemissionen. Die **Knappheit fossiler Ressourcen** wird vor allem durch den Dieserverbrauch verursacht und beträgt 0,0135 kg Öl-äq./kg Soja. Die Saatgutproduktion verursacht 0,002 SO<sub>2</sub> äq./kg Soja bei der **terrestrischen Versauerung**, gefolgt vom Maschineneinsatz mit 0,00014 SO<sub>2</sub> äq./kg Soja.

Das Sojasystem mit vorangegangener Brache schneidet in allen Kategorien am besten ab. Dies liegt daran, dass die Zwischenfruchtsysteme die zusätzlichen Feldgänge Grubbern und Säen brauchen und Emissionen bei der Saatgutproduktion entstehen.

Die Verwendung von DNDC zur Simulation der Feldemissionen ist in dieser Arbeit noch mit Unsicherheiten behaftet und es benötigt noch weitere Forschung, um dieses Simulationsmodell mit verlässlichen Ergebnissen in die Ökobilanzierung zu integrieren.

## Literaturverzeichnis

- Bessou, C., Lehuger, S., Gabrielle, B. und Mary, B. (2013): Using a crop model to account for the effects of local factors on the LCA of sugar beet ethanol in Picardy region, France. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (1) S. 24-36.
- BISZ (2017): Beratung und Information für den süddeutschen Zuckerrübenanbau. Verfügbar unter: <https://bisz.suedzucker.de/duengung/naehrstoffe/stickstoff-n/stickstoff-im-boden>, Zugriff am 03.05.2018.
- BMNT (2017): Grüner Bericht. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Bodner, G. (2017): Ökologische Aspekte im Zwischenfruchtbau. Auswirkungen auf Bodenwasserhaushalt und Stickstoffdynamik im Boden- und Grundwasser. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- [BOKU] Universität für Bodenkultur Wien (2018): Wetterdaten. Verfügbar unter: <http://www.dnw.boku.ac.at/pb/forschung/wetterdaten/> Zugriff am 15.01.2018.
- Büchi, L., Gebhard, C.-A., Liebisch, F., Sinaj, S., Ramseier, H. und Charles, R. (2015): Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant and Soil*, 393, S. 163-175.
- CASE IH (2019): CASE IH AGRICULTURE. Verfügbar unter: <https://www.caseih.com/emea/de-at/Pages/Products.aspx>, Zugriff am 10.09.2018.
- Constantin, J., Laurent, F., Beaudoin, N., Cohan, J.-P., Duyme, F. und Mary, B. (2011): Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. *Plant and soil*, 341, S. 137-154.
- Düngerverordnung (2017): Anrechnung von Stickstoff aus organischen Düngern nach der novellierten DüV. Verfügbar unter: [https://www.kompost.de/fileadmin/news\\_import/Anrechnung\\_von\\_Stickstoff.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/news_import/Anrechnung_von_Stickstoff.pdf), Zugriff am 01.08.2019.
- ecoinvent - Swiss center of life cycle inventories (2017): Ecoinvent data v3.4. Verfügbar unter: <https://www.ecoinvent.org>, Zugriff am 15.10.2018.
- [EU (1991)] AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung mit Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG). Verfügbar unter: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0676&from=EN>, Zugriff am 20.10.2017.
- FAO (2011): Organic agriculture and climate change mitigation. A report of the Round Table on Organic Agriculture and Climate Change. Rom: Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- Florentin, M. A. (2011): Green manure, cover crops and crop rotation in Conservation Agriculture on small farms. Rom: Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

- Foldal, C. (2017): persönliche Mitteilung vom 29.11.2017
- Frischknecht, R. (2013): Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit. Teil 2: Ökobilanzen (Life cycle assessment, LCA). Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule.
- Georges, M. A. (2003): Einfluss von Pflanzen auf die Netto- Stickstoffmineralisation. Dissertation. Göttingen: Cuvillier.
- Gilhespy, S. L., Anthony, S., Cardenas, L., Chadwick, D., del Prado, A., Li, Ch., Yeluripati, J. B. (2014): First 20 years of DNDC (DeNitrification DeComposition): Model evolution. *Ecological Modelling*, 292, S. 51-62.
- GreenDelta GmbH (2019): openLCA (Version 1.8, 2018). Berlin. Verfügbar unter: <https://www.openlca.org/greendelta/>, Zugriff am 11.02.2019.
- Goglio, P., Benoit, G., Colnenne-David, C., Laville, P., Dore, T. und Desjardins, R. (2014): Assessing GHG mitigation options for crops at regional level using ecosystem modelling and LCA. *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*.
- Gollner, G. (a.n.): Stickstoff-Bindung bei Körnerleguminosen. Institut für Ökologischen Landbau. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- HAMPL, U. (1996): Gründung. Graz- Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.
- Hayer, F., Scharfy, D., Gaillard, G., Anspach, V. und Albisser Vögeli, G. (2011): Ökobilanzierung des Anbaues von Zwischenkulturen zur Biogasproduktion. Schlussbericht an das Bundesamt für Energie (BfE) Bern. Zürich-Reckenholz: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Eslhout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., . . . van Zelm, R. (2016); ReCiPe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization. Bilthoven: RIVM.
- Institute for the Study of Earth, Oceans and Space (2017): DNDC (Version 9.5). Scientific Basis and Processes. Verfügbar unter: [www.dndc.sr.unh.edu](http://www.dndc.sr.unh.edu) Zugriff am 20.03.2018.
- [ISO 14040] DIN EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.
- [ISO 14044] DIN EN ISO 14044:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.
- Kahnt, G. (1983): Gründung. Frankfurt am Main: DLG Verlags-GmbH.
- KERNER Maschinenbau GmbH (2019): KERNER. Verfügbar unter: <https://www.kerner-maschinenbau.de/produkte/grubber/galaxis/> Zugriff am 13.05.2019.
- Einböck GmbH & Co. KG (2019): Einböck Farm Power- Bodenbearbeitung, die Freude macht. Verfügbar unter:

- [https://www.einboeck.at/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=101&Itemid=272&lang=de](https://www.einboeck.at/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=101&Itemid=272&lang=de), Zugriff am 20.10.2018.
- Klöpffer, W. und Grahl, B. (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Kolbe, H., Schuster, M., Hänsel, M., Grünbeck, A., Schliesser, I., Köhler, A., . . . Arp, B. (2004). Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Kral, I., Piringer, G., Saylor, M., Gronauer, A. und Bauer, A. (2016): Environmental Effects of Steam Explosion Pretreatment on Biogas from Maize—Case Study of a 500-kW Austrian Biogas Facility. *Bioenergy Research*, 9 (1) S. 198-207.
- KTBL (2018): KTBL-Feldarbeitsrechner. Verfügbar unter: <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html>, Zugriff am 04.08.2018.
- Liao, W., van der Werf, H. und Salmon-Monviola, J. (2015): Improved Environmental Life Cycle Assessment of Crop Production at the Catchment Scale via a Process-Based Nitrogen Simulation Model. *Environmental Science & Technology*, 49 (18), S.10790-10796.
- Märzendorfer, M., und Harant, M. (März 2014): Einfluss von Zwischenfrüchten auf bodenbürtige Treibhausgasemissionen sowie auf ausgewählte Parameter des Stickstoffkreislaufs. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- MaterMacc (2019): MaterMacc Europe. Verfügbar unter: <http://www.matermacc.it/de/samaschine/ms8130.html>, Zugriff am 25.08.2018.
- Mohammadi, K., Sohrabi, Y., Heidari, G., Khalesro, S., und Majidi, M. (2012): Effective factors on biological nitrogen fixation. *African Journal of Agricultural Research*, 7, S. 1782-1788.
- Mößmer, A. (2009): Steyr. Das Typenbuch. München: GeraMond Verlag GmbH.
- Nemecek, T. und Kägi, T. (2007): Life Cycle Assessment of Agricultural Production Systems. Zürich: Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART.
- Nordrhein-Westfalen Landwirtschaftskammer (2013): Zwischenfruchtcompass. Verfügbar unter: <https://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/pdf/lwk-zwischenfruchtcompass.pdf>, Zugriff am 10.03.2018.
- ÖPUL (2015a): Begrünung von Ackerflächen – Zwischenfruchtanbau. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- ÖPUL (2015b): Begrünung von Ackerflächen – System Immergrün. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Pelletier, N., Arenault, N. und Tyedmers, P. (2008): Scenario Modeling Potential Eco-Efficiency Gains from a Transition to Organic Agriculture: Life Cycle Perspectives on Canadian Canola, Corn, Soy and Wheat Production. *Environmental Management*, 42, S. 989-1001.

- Piegholdt, C., Riediger, S., und Beisecker, R. (2014): Zwischenfrüchte schützen Stickstoff vor Auswaschung. Wieviel N kann gebunden werden? Landwirtschaftliches Wochenblatt, 223, S. 23-26.
- Plaza-Bonilla, D., Nolot, J., Raffailac, D., und Justes, E. (2015): Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. Agriculture, Ecosystems & Environment, 212, S. 1-12.
- Pöttinger Landtechnik GmbH (2019): PÖTTINGER. Verfügbar unter: [https://www.poettinger.at/de\\_at/Produkte/Detail/720/terrasem](https://www.poettinger.at/de_at/Produkte/Detail/720/terrasem), Zugriff am 25.08.2018.
- Prechsl, U. E., Wittwer, R., van der Heijden, M., Lüscher, G., Jeanneret, P. und Nemecek, T. (2017): Assessing the environmental impacts of cropping systems and cover crops: Life cycle assessment of FAST, a long-term arable farming field experiment. Agricultural Systems, 157, S. 39-50.
- proplanta (2018): proplanta. Das Informationszentrum für die Landwirtschaft. Verfügbar unter: [https://www.proplanta.de/Agrar-Lexikon/Tausendkorngewicht+\(TKG\)\\_II1231060814.html](https://www.proplanta.de/Agrar-Lexikon/Tausendkorngewicht+(TKG)_II1231060814.html), Zugriff am 20.04.2018.
- Roidmayr, F. (2016): Stickstoffmodellierung in Agrarökobilanzen. Auswahl und Vergleich einfacher Modelle für den Ackerbau. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- Rosa-Schleich, J., Loos, J., Musshoff, O. und Tschardtke, T. (2019): Ecological-economic trade-offs of Diversified Farming Systems – A review. Ecological Economics, 160, S. 251-263.
- Schwaiger, S. (2016): Stickstoff- und Kohlenstoffmodelle für Grünlandflächen-Auswahl und Bewertung für die Anwendung in der Ökobilanzierung. Masterarbeit. BOKU Wien.
- Steyr (2019): Steyr Traktoren. Verfügbar unter: <https://www.steyr-traktoren.com/de-at/landwirtschaft/produkte/traktoren/cvt>, Zugriff am 25.08.2018.
- Stranddorf, H. K., Hoffmann, L., Schmidt, A. und FORCE Technology (2005): Impact categories, normalisation and weighting in LCA. Verfügbar unter: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2005/87-7614-574-3/pdf/87-7614-575-1.pdf>, Zugriff am 23.04.2018.
- Szyska, B. M. (2009): Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen des prozessorientierten Modells DNDC zur Schätzung klimarelevanter Treibhausgasemissionen aus der Pflanzenproduktion. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Giessen.
- Tabatabaie, S. M., Bolte, J. und Murthy, G. (2018): A regional scale modeling framework combining biogeochemical model with life cycle and economic analysis for integrated assessment of cropping systems. Science of the Total Environment, 625, S. 428–439.

Winter, S., Emara, Y., Citroth, A., Su, C. und Srocka, M. (2015): openLCA 1.4. Comprehensive User Manual. Berlin: GreenDelta GmbH.

Yadav, D. und Wang, J. (2017): Modelling carbon dioxide emissions from agricultural soils in Canada. *Environmental Pollution*, 230, S. 1040-1049.

# Anhang

## Anhang A – Datenblätter der eingesetzten landwirtschaftlichen Maschinen

Tabelle 16 Technische Daten, Steyr Profi CVT 6240 nach Steyr Traktoren, 2019

Motor	
Typ	Common-Rail-Dieselmotor mit 24 Ventilen, Turbolader und Intercooler
Abgasstufe	Stufe IV
Hubraum [cm <sup>3</sup> ]/Zylinderanzahl	6.728 / 6
Nennleistung [kW/PS]	177 / 240
Maximalleistung [kW/PS]	192 / 260
Max. Drehmoment [NM bei 1100 U/min]	1500
Kraftstofftank Diesel/Harnstoff [l]	390 / 48
Getriebe	
Bauart	Stufenloses Getriebe mit Power Shuttle und integriertem Kriechganggetriebe
Geschwindigkeitsbereich	0-50 km/h - 50 km/h bei 2000 U/min
Maße	
Leergewicht [kg]	6.950
Höchstzulässiges Gesamtgewicht [kg]	13.000
Länge [mm]	5.467
Breite [mm]	2.476

Tabelle 17 Technische Daten, Steyr 9080 (Mößmer, 2009)

Motor	
Typ	wassergekühlter Vierzylindermotor mit Turbolader, Direkteinspritzung und Kaltstartsystem
Hubraum [cm <sup>3</sup> ]/Zylinderanzahl	4397/ 4
Nennleistung [kW/PS]	60/82
Nenn Drehleistung [U/min]	2300
Geschwindigkeitsbereich	30, 40 oder 50 km/h
Leergewicht [kg]	3.749
Länge [mm]	3980
Breite [mm]	2170

Tabelle 18 Technische Daten, Einböck Aerostar 1200 Hackstriegel (Einböck, 2019)

Arbeitsbreite [m]	12
Gewicht [kg]	1.310
Zinkenanzahl	480
Anbaukategorie	II/28

Testräder	4
Klappung	hydraulisch
Transportbreite/höhe [m]	3/ 3,3
Felder	8
Kraftbedarf PS/kW	80/59

Tabelle 19 Technische Daten, Mähdrescher CASE IH AFX 8010 (CASE IH, 2019)

Motor	
Typ	CASE IH 10,3 l mit elektronisch geregelter Einspritzung
Nennleistung (ISO TR 14396) bei 2.100 [U/min] [kW/PS]	295/400
Maximalleistung [kW/PS]	329/446
Drehzahlbereich [U/min]	220-1200
Kraftstofftank Diesel/Harnstoff [l]	1.000
Bauart	Vierganggetriebe, hydrostatische Kraftübertragung
Standardgewicht mit verstellbarer Hochleistungsachse [kg]	16.182
Gesamtlänge ohne Schneidwerk [mm]	7.964
Breite mit Bereifung 710/70 R 38 [mm]	3500
Arbeitsbreite [m]	6
Korntankinhalt [l]	10.500
Abtankgeschwindigkeit [l/s]	105

Tabelle 20 Technische Daten, Pöttinger Terrasem R3 Mulchsaatmaschine (Pöttinger, 2019)

Arbeitsbreite [m]	3
Gewicht [kg]	4.550
Saattankvolumen [l]	3.000
Dossiersystem	Ein Verteilerkopf
Säschare	24
Länge [m]	7,94
Transportbreite/höhe [m]	3/ 2,66
Max. Kraftbedarf PS/kW	170/125

Tabelle 21 Technische Daten, MaterMacc MS8130 (MaterMacc, 2019)

Arbeitsbreite [m]	3
Gewicht [kg]	910
Saattankvolumen [l]	210
Reihenanzahl	6
Transportbreite/höhe [m]	3
Max. Kraftbedarf PS/kW	80/59

Tabelle 22 Technische Daten, Kerner Galaxis G300 Flügelscharrgrubber

Arbeitsbreite [m]	3
Bauart	Dreipunktbock starr
Gewicht [kg]	1.130
Sternverteiler	6
Zinkenanzahl	7
Tiefenbearbeitung	5-25 cm
Rahmenhöhe [cm]	83
Max. Kraftbedarf PS/kW	100/74

## Anhang B- Bodendaten des Versuchsstandortes Groß- Enzersdorf

Tabelle 23 Bodendaten des Versuchsstandortes Groß- Enzersdorf, Angaben für den Ap-Horizont

Bodentyp	Tschernosem aus Donausedimenten
Horizonte	Ap (0-30 cm), Ah (30-60 cm), AC (60-80 cm), C (ab 80 cm)
Gewichtsanteile des Feinbodens	16,6 % Sand, 63,9 % Schluff, 19,5 % Ton
pH	8
Drainage	70 %
nutzbare Feldkapazität	63 mm Wassersäule
Gesamtporenvolumen	56 %
Organischer Kohlenstoff	0,017 kg C/kg Boden
Nitratausgangswert	35 kg N/ha
Elektrische Leitfähigkeit	213 µS/cm

## Anhang C- Durchschnittssojaerträge und Standardabweichung des Sojaertrags

Tabelle 24 Standardabweichung für den Sojaertrag

	Ertrag kg FS/ha (Feuchtigkeit 18%)	Ertrag kg t TM/ha	Standardabweichung	Mittelwert
2012	1500	1,23	1,18	2,31
2013	3100	2,542		
2014	2400	1,968		
2015	1030	0,8446		
2016	5400	4,428		
2017	3500	2,87		

Tabelle 25 Sojaerträge nach dem Zwischenfruchtanbau oder einer Brache der Jahre 2015 und 2016

Erntejahr	WDH	Zwischenfrucht	Ertrag TM kg/ha	Durchschnittsertrag TM kg/ha
<b>2015</b>	1	Platterbse	3201,00	
2015	2	Platterbse	3216,17	
2015	3	Platterbse	3023,67	3146,95
2015	1	Ölrettich	3547,83	
2015	2	Ölrettich	3415,33	
2015	3	Ölrettich	3863,67	3608,94
2015	1	Schwarzbrache	3102,17	
2015	2	Schwarzbrache	2915,33	
2015	3	Schwarzbrache	3382,17	3133,22
<b>2016</b>	1	Sandhafer	4488,17	
2016	2	Sandhafer	3596,67	
2016	3	Sandhafer	3491,83	3858,89
2016	1	Schwarzbrache	4175,67	
2016	2	Schwarzbrache	3221,50	
2016	3	Schwarzbrache	3252,00	3549,72
2016	1	Platterbse	4187,81	
2016	2	Platterbse	4165,71	
2016	3	Platterbse	3186,29	3846,60
2016	1	Ölrettich	3689,50	
2016	2	Ölrettich	3568,00	
2016	3	Ölrettich	3619,33	3625,61
2016	1	Ramtillkraut	4064,00	
2016	2	Ramtillkraut	3712,83	
2016	3	Ramtillkraut	2793,17	3523,33

## Anhang D- Nitratgehalte im Boden

Tabelle 26 Stickstoffgehalte in den Horizonten a=0-30 cm, b=30-60 cm, c=60-90 cm oder a=0-10 cm, b=10-30 cm, c=30-60 cm, d=60-90 cm; HF: Soja, ZF: 14= Platterbse, 15= Brache, 17= Ölrettich, 20= Sandhafer, 21= Ramtillkraut

Erntejahr	Datum	HF	WDH	ZF	Tiefe	NO3 kg/ha
2016	26.04.2016	1	1	20	a	42,8
2016	26.04.2016	1	1	20	b	31,48
2016	26.04.2016	1	1	20	c	128,05
2016	18.07.2016	1	1	20	a	33,14

2016	18.07.2016	1	1	20	a	33,83
2016	22.09.2016	1	1	20	a	16,32
2016	22.09.2016	1	1	20	b	38,39
2016	22.09.2016	1	1	20	c	48,25
2016	26.04.2016	1	1	15	a	33,31
2016	26.04.2016	1	1	15	b	83,28
2016	26.04.2016	1	1	15	c	117,65
2016	18.07.2016	1	1	15	a	14,17
2016	18.07.2016	1	1	15	b	24,91
2016	22.09.2016	1	1	15	a	36,77
2016	22.09.2016	1	1	15	b	59,51
2016	22.09.2016	1	1	15	c	66,25
2016	26.04.2016	1	1	14	a	82,33
2016	26.04.2016	1	1	14	b	64,9
2016	26.04.2016	1	1	14	c	116,68
2016	18.07.2016	1	1	14	a	23,12
2016	18.07.2016	1	1	14	a	27,59
2016	22.09.2017	1	1	14	a	42,87
2016	22.09.2016	1	1	14	b	73,73
2016	22.09.2016	1	1	14	c	44,48
2016	26.04.2016	1	1	17	b	55,77
2016	26.04.2016	1	1	17	c	42,1
2016	26.04.2016	1	1	17	a	44,3
2016	18.07.2016	1	1	17	a	24,09
2016	18.07.2016	1	1	17	a	38,33
2016	22.09.2016	1	1	17	a	33,65
2016	22.09.2016	1	1	17	b	17,11
2016	22.09.2016	1	1	17	c	21,23
2016	26.04.2016	1	1	21	a	143,66
2016	26.04.2016	1	1	21	b	219,53
2016	26.04.2016	1	1	21	c	89,45
2016	18.07.2016	1	1	21	a	33,45
2016	18.07.2016	1	1	21	a	31,9
2016	22.09.2016	1	1	21	a	58,39
2016	22.09.2016	1	1	21	b	33,55
2016	22.09.2016	1	1	21	c	42,91
2016	26.04.2016	1	2	17	b	191,35
2016	26.04.2016	1	2	17	c	222,06
2016	26.04.2016	1	2	17	a	131,17
2016	18.07.2016	1	2	17	a	21,95
2016	18.07.2016	1	2	17	a	26,82
2016	22.09.2016	1	2	17	c	75,48

2016	22.09.2016	1	2	17	a	41,61
2016	22.09.2016	1	2	17	b	33,19
2016	26.04.2016	1	2	20	a	98,99
2016	26.04.2016	1	2	20	b	116,78
2016	26.04.2016	1	2	20	c	144,24
2016	18.07.2016	1	2	20	a	61,35
2016	18.07.2016	1	2	20	a	46,92
2016	22.09.2016	1	2	20	a	43,28
2016	22.09.2016	1	2	20	b	33,28
2016	22.09.2016	1	2	20	c	42,23
2016	26.04.2016	1	2	14	a	99,69
2016	26.04.2016	1	2	14	b	53,39
2016	26.04.2016	1	2	14	c	148,6
2016	18.07.2016	1	2	14	a	22,6
2016	18.07.2016	1	2	14	a	24,6
2016	22.09.2016	1	2	14	a	33,92
2016	22.09.2016	1	2	14	b	67,71
2016	22.09.2016	1	2	14	c	68,47
2016	26.04.2016	1	2	21	a	79,04
2016	26.04.2016	1	2	21	b	231,32
2016	26.04.2016	1	2	21	c	138,3
2016	22.09.2016	1	2	21	b	75,41
2016	22.09.2016	1	2	21	c	67,25
2016	18.07.2016	1	2	21	a	65,79
2016	18.07.2016	1	2	21	a	54,27
2016	22.09.2016	1	2	21	a	41,6
2016	26.04.2016	1	2	15	a	142,74
2016	26.04.2016	1	2	15	b	82,12
2016	26.04.2016	1	2	15	c	325,08
2016	18.07.2016	1	2	15	a	27,02
2016	18.07.2016	1	2	15	a	38,49
2016	22.09.2016	1	2	15	a	40,93
2016	22.09.2016	1	2	15	b	26,24
2016	22.09.2016	1	2	15	c	31,35
2016	26.04.2016	1	3	17	a	120,07
2016	26.04.2016	1	3	17	b	78,29
2016	26.04.2016	1	3	17	c	40,81
2016	18.07.2016	1	3	17	a	63,76
2016	18.07.2016	1	3	17	a	28,52
2016	22.09.2016	1	3	17	b	39,99
2016	22.09.2016	1	3	17	c	14,4
2016	22.09.2016	1	3	17	a	40,35

2016	26.04.2016	1	3	20	a	110,19
2016	26.04.2016	1	3	20	b	60,42
2016	26.04.2016	1	3	20	c	166,19
2016	22.09.2016	1	3	20	c	32,55
2016	18.07.2016	1	3	20	a	45,88
2016	18.07.2016	1	3	20	a	39,7
2016	22.09.2016	1	3	20	a	41,06
2016	22.09.2016	1	3	20	b	16,05
2016	26.04.2016	1	3	15	a	84,58
2016	26.04.2016	1	3	15	b	78,8
2016	26.04.2016	1	3	15	c	220,11
2016	22.09.2016	1	3	15	a	30,86
2016	18.07.2016	1	3	15	a	50
2016	18.07.2016	1	3	15	a	44
2016	22.09.2016	1	3	15	b	16,46
2016	22.09.2016	1	3	15	c	27,56
2016	26.04.2016	1	3	14	a	105,06
2016	26.04.2016	1	3	14	b	105,28
2016	26.04.2016	1	3	14	c	102,31
2016	18.07.2016	1	3	14	a	19,57
2016	18.07.2016	1	3	14	a	71,76
2016	22.09.2016	1	3	14	a	39,84
2016	22.09.2016	1	3	14	b	63,12
2016	22.09.2016	1	3	14	c	31,34
2016	26.04.2016	1	3	21	a	84,75
2016	26.04.2016	1	3	21	b	135,34
2016	26.04.2016	1	3	21	c	204,48
2016	18.07.2016	1	3	21	a	17,12
2016	18.07.2016	1	3	21	a	43,48
2016	22.09.2016	1	3	21	a	39,6
2016	22.09.2016	1	3	21	b	16,13
2016	22.09.2016	1	3	21	c	13,07
2015	30.04.2015	1		14	a	34,47
2015	30.04.2015	1		14	b	17,13
2015	15.07.2015	1		14	a	5,04
2015	15.07.2015	1		14	a	5,42
2015	29.09.2015	1		14	b	7,11
2015	29.09.2015	1		14	a	45,45
2015	29.09.2015	1		14	c	48,98
2015	30.04.2015	1		17	a	10,41
2015	30.04.2015	1		17	b	2,19

2015	15.07.2015	1		17	a	0
2015	15.07.2015	1		17	a	2,87
2015	29.09.2015	1		17	c	14,78
2015	29.09.2015	1		17	b	11,46
2015	29.09.2015	1		17	a	34,32
2015	30.04.2015	1		15	a	11,22
2015	30.04.2015	1		15	b	7,83
2015	15.07.2015	1		15	a	7,8
2015	15.07.2015	1		15	a	3,57
2015	29.09.2015	1		15	a	73,04
2015	29.09.2015	1		15	b	42,38
2015	30.04.2015	1		17	a	4,17
2015	30.04.2015	1		17	b	2,97
2015	15.07.2015	1		17	a	9,11
2015	15.07.2015	1		17	a	1,61
2015	29.09.2015	1		17	a	69,22
2015	29.09.2015	1		17	b	23,66
2015	29.09.2015	1		17	c	7,27
2015	30.04.2015	1		14	a	36,53
2015	30.04.2015	1		14	b	17,53
2015	15.07.2015	1		14	a	
2015	15.07.2015	1		14	a	6,03
2015	29.09.2015	1		14	a	65,9
2015	29.09.2015	1		14	c	27,59
2015	29.09.2015	1		14	b	20,02
2015	30.04.2015	1		15	a	7,58
2015	30.04.2015	1		15	b	16,27
2015	15.07.2015	1		15	a	2,52
2015	15.07.2015	1		15	a	2,85
2015	29.09.2015	1		15	b	13,55
2015	29.09.2015	1		15	a	27,77
2015	29.09.2015	1		15	c	5,04
2015	30.04.2015	1		15	a	37,54
2015	30.04.2015	1		15	b	10,17
2015	15.07.2015	1		15	a	16,86
2015	15.07.2015	1		15	a	5,95
2015	29.09.2015	1		15	a	73,92
2015	29.09.2015	1		15	b	13,38
2015	30.04.2015	1		14	a	69,36
2015	30.04.2015	1		14	b	19,49
2015	15.07.2015	1		14	a	14,62

2015	15.07.2015	1		14	a	19,28
2015	29.09.2015	1		14	a	38,28
2015	29.09.2015	1		14	c	7,4
2015	29.09.2015	1		14	b	10,52
2015	30.04.2015	1		17	a	11,82
2015	30.04.2015	1		17	b	2,23
2015	15.07.2015	1		17	a	6,79
2015	15.07.2015	1		17	a	2,59
2015	29.09.2015	1		17	b	9,44
2015	29.09.2015	1		17	a	34,37
2015	29.09.2015	1		17	c	4,39

## Anhang E- Daten zu den Zwischenfrüchten

Tabelle 27 Messdaten zur oberirdischen Biomasse und der Wurzelbiomasse der Zwischenfrüchte und deren C/N-Verhältnis

	Oberirdische Biomasse [TM g/ m <sup>2</sup> ]			Wurzelbiomasse [TM g/ m <sup>2</sup> ]		
	mean	SD	C:N	mean	SD	C:N
Ölrettich	112.27	54.10	13.11	335.37	260.56	12.51
Ramtill	172.00	57.80	19.20	160.84	50.15	22.61
Hafer	176.17	48.00	27.39	72.25	26.21	26.01
Platterbse	25.21	10.68	16.67	18.05	7.60	19.23

## Anhang F- Wetterdaten der Jahre 2011 bis 2016 in Groß- Enzersdorf

Tabelle 28 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2011

Tag	max. Temp. [°C]	min. Temp. [°C]	Nieder- schlag [cm]	Wind- geschwindigkeit [m/s]	Luft- feuchtigkeit [%]
1	2,8	-2,3	0	1,42	70,9
2	2,8	0,1	0,02	0,92	75,6
3	2,6	-4,5	0	0,67	75,7
4	-2,6	-7,9	0	1,11	90,9
5	-3,5	-4,2	0	1,97	58,7
6			0	0,44	15,2
7			0	0,22	50,4
8			0,04	0,00	10,8
9			0,04	0,00	0
10			0,26	0,00	0
11			0	0,00	0
12			0	0,50	46,2
13			1,62	0,00	22,8

14			0,04	0,81	34,4
15	11,8	6,1	0	0,75	39,7
16	12,4	1,2	0	0,06	82,8
17	0,8	-2	0,02	0,06	98,1
18	7,5	-0,7	0	0,08	97,1
19	8,2	0,3	0,18	0,67	89,6
20	3,7	-1,2	0	0,67	60,2
21	1,2	-1,8	0	1,36	75
22	-0,4	-1,9	0	1,61	65,9
23	0,5	-3,5	0	2,03	65,8
24	-1,2	-13,1	0,04	0,22	86,2
25	2,6	-11,3	0,04	0,22	90,5
26	2,8	-3,3	0,52	0,64	88,6
27	-0,4	-3,3	0,02	0,08	92,9
28	-2,7	-7,7	0	0,17	91,3
29	-6,2	-10,1	0	0,75	93,4
30	-3,3	-9,3	0	0,89	90,5
31	-3,2	-5,3	0	1,11	85,7
32	-3,6	-5,5	0	0,86	85,7
33	-1,3	-5,4	0	1,47	76,5
34	0,9	-8,4	0	0,19	85,4
35	7,4	-6,3	0	0,72	78,7
36	10,6	6,3	0	3,39	60,3
37	12,4	1,1	0	1,75	64,1
38	13,5	-0,9	0	0,33	69
39	13,7	-2,5	0,02	0,64	74,6
40	8	-1,3	0,02	0,36	75,2
41	6	-5	0	0,42	83,5
42	12,1	-0,7	0	1,78	79,5
43	10,1	-1,4	0	1,56	65,3
44	0,2	-1,5	0	1,00	75,6
45	0,2	-0,6	0	1,17	81,7
46	-0,2	-2,1	0,02	2,64	65
47	0,3	-2	0	2,19	92,9
48	1,1	-0,3	0	2,36	91
49	3,1	0,6	0	0,64	91,9
50	3,4	-0,1	0	1,14	86,1
51	-0,1	-6,8	0	1,22	73,2
52	-3,6	-7,9	0	1,47	67,3
53	-2,3	-8,1	0	1,22	65,9
54	-2,7	-8,7	0	1,97	61,4
55	-0,1	-10,7	0	0,92	61,4
56	0,9	-8	0,1	1,75	63,7
57	3,2	-7,8	0	0,94	64
58	3,6	-5,9	0	1,61	72,7
59	6	-7	0	0,06	81,2
60	5,1	-3,3	0	0,31	72,3

61	5,1	-7,1	0	0,72	58,1
62	1,7	-5,1	0	1,36	86,6
63	7,2	-4,5	0	0,61	76,3
64	6,6	-5,9	0	0,50	76,3
65	6,3	-2,5	0	1,97	50,2
66	4,1	-5,2	0	1,00	45,8
67	6,1	-10,5	0	1,36	52
68	8,5	-6,6	0	0,72	51,2
69	4,6	-2	0	0,36	77,8
70	13,3	-2,8	0	0,86	69,6
71	14,8	-4,2	0	1,67	61,7
72	18,7	-0,2	0,02	1,64	49,9
73	19,8	6	0	0,89	52,5
74	18,5	0,8	0	0,64	68,3
75	13,2	7,5	0	1,64	79
76	12,5	9,6	0	2,06	90,1
77	9,7	3,4	0	2,81	84,7
78	6,6	3,3	0	2,31	72,7
79	7,9	0,5	0	1,61	68,6
80	10,1	-0,3	0	0,75	65
81	13,6	-1,2	0	0,69	58,5
82	15,6	3,1	0,04	1,53	57
83	18,4	3,8	0	1,08	43,7
84	20,1	0,8	0	0,47	51,6
85	13	3,8	0	0,64	61,9
86	8,3	3,8	0	0,75	76,8
87	11	5,1	0	0,25	84,7
88	15,8	2,2	0	0,39	60,3
89	19,1	-0,2	0	0,50	57,7
90	19,6	1,9	0	0,42	60,8
91	17,3	10,4	0,2	1,22	73,7
92	20,1	5,7	0	0,28	68,8
93	20,3	5	0	0,86	70,4
94	21	8,3	0,14	1,44	69,9
95	14,8	6,9	0,16	1,33	67,6
96	18,3	4,5	0	1,08	65,2
97	25,9	13	0	1,61	50,2
98	18,5	10	0	2,86	39,3
99	17,2	9,9	0	3,08	38,5
100	17,3	6,3	0	2,22	43,7
101	18,7	7,8	0	0,92	50
102	19	5,6	0,36	1,42	63,1
103	9,9	4,8	0,26	2,28	62,2
104	8,5	5,4	0,48	1,72	75,5
105	11,8	3,8	0	0,64	74,3
106	14,7	4,9	0	0,11	65,2
107	17,7	1,9	0	0,14	57,4

108	18,3	3,5	0	0,11	55,7
109	20,1	2,3	0	0,06	58,7
110	21,8	4,4	0	0,53	59,7
111	23,9	7,8	0	0,64	54,4
112	24,2	6,4	0	0,75	54,7
113	24,7	6,9	0	1,17	49,1
114	22,7	6,2	0,24	0,22	61,8
115	19,7	6,5	0	0,22	77,3
116	12,7	10	0,76	0,17	89,7
117	19,7	9,2	0,32	0,25	77,8
118	20,8	7,8	0	0,42	71
119	20,7	8,3	0,14	0,19	74,5
120	20,3	8,1	0,22	0,22	78,1
121	17,9	9,4	0,3	0,50	76,1
122	17,4	6,8	0	0,28	58,4
123	17,4	4,8	0,22	1,25	72,5
124	12,8	1,5	0	0,86	56,5
125	14	3	0	0,39	54,5
126	17,4	-0,4	0	0,58	61,6
127	20,9	2,4	0	0,25	53,9
128	16,5	6,4	0,46	0,61	62,4
129	21,3	2,6	0	0,11	63,9
130	24,6	4,9	0	0,06	58,3
131	25,5	9	0	0,17	55,3
132	25,5	7,2	0,32	0,44	62,8
133	20,5	10,4	0	0,72	63
134	22,6	7,5	0,44	0,50	74,6
135	13,6	9,2	0,66	0,92	84,1
136	18	8,1	0	0,86	65,4
137	19,8	11,2	0	0,19	66,3
138	23,3	6,7	0	0,33	67,4
139	26,4	12,2	0	0,86	62,5
140	26,7	10,1	0	0,19	64,2
141	27,8	12,4	0	0,22	66,4
142	26,8	9,9	0	0,33	67,4
143	25,8	15,2	0	0,61	58,4
144	28,6	10,3	0	0,08	64,8
145	22,3	11,4	0	0,64	50
146	25,2	5	0	0,94	57,6
147	24,6	11,3	1,28	0,69	73,8
148	14,2	9,9	0,94	0,89	89,2
149	23,2	8,2	0	0,14	71,4
150	24,7	9,3	0	0,61	69,3
151	27,4	13,4	0	1,17	64
152	23,3	12,8	0	0,47	75,6
153	19,8	15,8	0	0,75	77,5
154	27,7	14,9	0	0,50	77,2

155	27,9	16	0	0,11	74,9
156	26,5	13,2	0	0,75	74,6
157	27,4	15,8	0	1,25	65,7
158	28,4	14,1	0	0,61	72,2
159	26,1	15,9	0	0,78	82,9
160	20,1	13,1	0	1,00	77,4
161	22,1	12,6	0	0,53	64,1
162	24,2	10,8	0	0,47	63,9
163	21,8	15,3	0	0,83	72,8
164	25,9	12,2	0	0,11	66,3
165	25,1	16,8	0	0,53	62,7
166	27,9	12,9	0	0,19	67
167	29,2	12,2	0	0,22	70,2
168	23,9	16,8	0	0,31	70,7
169	22,9	13,7	0,82	0,42	78,3
170	21,5	11,1	1,42	0,61	74
171	22,5	12	0	0,69	55,4
172	29	13,7	0	0,39	62,1
173	30,1	14,7	0	0,64	67,1
174	25,3	16	1,6	0,44	70,1
175	22,6	13,6	0,06	0,64	70,2
176	21,4	10,4	0	0,69	59,3
177	21,1	12,9	0,04	0,19	75,2
178	26,5	11	0	0,14	71,8
179	27	13,9	0	0,67	50,3
180	30,3	15	0	0,64	51,1
181	28,6	14,8	2,76	0,94	73,7
182	21,9	13,8	0	1,33	55,5
183	19,7	11,7	0,52	1,17	64,8
184	15,2	12	0,36	1,42	71,4
185	23,2	14,5	0	1,00	72,4
186	24,2	15,8	0,1	0,53	72,7
187	28,5	13,1	0	0,25	66,4
188	30,9	14,1	0	0,53	60,9
189	26,4	17,3	0	0,92	61,5
190	33,1	14,4	0	0,31	63,7
191	31,9	18,9	0	0,58	58,2
192	27,9	19,2	0	0,67	62,9
193	28,7	13,9	0	0,44	58
194	32,9	17,6	0	1,61	53,6
195	26,7	17,4	0,36	1,50	63,2
196	20,8	15,1	0,84	1,28	69,3
197	26,5	14,4	0	0,53	55
198	30,7	13,9	0	1,50	58
199	22	15,5	0	1,00	61
200	26,7	11,1	0	0,67	63,9
201	20,6	15,6	0,1	2,17	69,1

202	17,9	14,1	1,34	1,86	77,4
203	21,7	14,3	1,12	1,72	74,4
204	20,2	14,8	0,02	0,39	76
205	17,4	13,5	0,1	1,69	73,2
206	18,2	12,7	0,22	1,44	73,2
207	17,9	14,7	0,3	1,00	81,1
208	24,9	14,1	0	0,39	72,5
209	20,3	14,8	2,2	0,22	89,7
210	23,4	15,7	0,06	1,19	76,3
211	20,9	15	0,02	1,44	72,6
212	18,4	14,3	0,28	1,78	77,6
213	20,4	14,8	0,24	1,22	80,5
214	26,5	16,8	0	0,64	70,1
215	27,4	13,4	0	0,44	70,3
216	22,3	17,6	1,24	0,31	83,4
217	27,1	13,9	0	0,47	76,4
218	26,8	17,8	0	1,58	75,4
219	29	16,9	0,38	0,86	80,5
220	19,5	16	0,82	0,33	89,2
221	22,1	15	0	1,86	60,1
222	18,8	12,3	0	1,56	61,8
223	25,4	7	0	0,44	64,4
224	25,7	12,2	0	0,56	70,9
225	25,5	12,5	0,02	0,72	73,3
226	28,4	13,6	0	0,53	70,4
227	29,7	16,3	2,8	0,83	73,6
228	24,8	15,6	0	0,75	70,6
229	27,1	12,7	0	0,00	69,5
230	29,9	16	0	0,36	66,3
231	28	17,3	0	0,61	72,2
232	27,2	17,5	0	0,44	66,4
233	29	13,8	0	0,44	65,8
234	33,9	17,3	0	0,25	67,1
235	34,3	20,4	0	0,94	65,3
236	34	18,5	0	0,31	59,6
237	33,5	20	0	0,50	59,1
238	34,7	18,8	0	1,39	57,1
239	30,5	12,2	0,72	1,94	63
240	22,3	10,9	0,12	0,75	72,2
241	26,6	10,8	0	0,14	64,4
242	24,4	15	0	0,97	52,1
243	24,1	12,4	0	0,33	62,8
244	24,9	11,7	0,06	0,28	66,6
245	27	12,5	0	0,31	66,2
246	28,8	13,5	0	0,36	63,7
247	31	17,2	0	1,69	57,3
248	30,7	16,4	0,02	1,69	59,8

249	24,5	13	0	1,11	54,9
250	25,4	8,5	0	1,00	62
251	20,3	15,4	0	1,97	59,4
252	20,2	13,8	0	1,28	72,5
253	27,7	13,3	0	0,36	71,5
254	30,4	13,2	0	0,56	66,1
255	27,1	15,8	0	1,50	57,1
256	29,9	11,6	0	0,67	58,2
257	27,2	14,2	0,14	0,72	69,9
258	23	11	0	0,50	63,4
259	21,4	8,3	0	0,31	63,9
260	22,8	9,6	0	0,22	70
261	28,4	13,4	0	2,03	58,8
262	13,4	9,7	0,92	2,00	81,6
263	12,6	9,6	0,6	2,22	89,5
264	20,2	12,6	0	1,00	79,4
265	21,4	10,5	0	0,75	74,1
266	21	11,6	0	0,36	68,6
267	21,2	10,5	0	0,14	68,4
268	23,8	8,4	0	0,61	71,3
269	24,1	8,5	0	0,22	70,3
270	25,2	8,3	0	0,11	71,6
271	22,8	12,1	0	0,86	64,4
272	23,1	9,4	0	0,64	54,9
273	24,2	11,6	0	0,64	61,7
274	26,2	8,6	0	0,19	65
275	24,4	11,6	0	0,86	61,9
276	24,2	8,3	0	0,11	67,1
277	25,7	8	0	0,56	69,5
278	23	10,3	0	0,92	66,2
279	24,3	11	0	0,36	69
280	15,9	8,1	0,22	1,31	82,3
281	11,2	6,9	0,18	1,78	75,2
282	10,8	4,9	0	1,78	76,4
283	10,3	5,1	0,66	0,53	83,5
284	18,9	10	0,02	1,33	76,6
285	16,2	9,4	1,08	0,97	86,1
286	12,8	7,1	0,62	1,17	77,2
287	9,7	3,2	0	1,14	70,1
288	11,1	0,9	0	0,50	74,1
289	9,5	-0,6	0	0,78	73,9
290	11,5	-0,7	0	1,03	70,4
291	13,2	-0,2	0	0,53	73,5
292	13,6	2,4	0	1,06	69,1
293	9,2	4,8	0,12	1,44	79,3
294	10,2	2,3	0	0,86	72,5
295	10,2	-0,6	0	0,39	79,9

296	7,9	-0,5	0,06	0,58	92,8
297	11,4	7,5	0,12	1,53	91,7
298	10,4	7,9	0,04	2,53	89,7
299	10,7	7,8	0,1	1,83	87,8
300	10,9	8,2	0,08	1,81	83,2
301	10,2	8,1	0	1,22	84,2
302	11,1	7,9	0	0,06	84,3
303	12,9	5,7	0	0,14	84,6
304	13,8	1,8	0	0,19	89,6
305	10,2	2,5	0,02	1,00	93,2
306	9,7	5,6	0	1,83	91,5
307	8,3	5,2	0	2,50	91,2
308	13,3	6,5	0	1,89	84,8
309	19,2	7	0	1,50	76,6
310	14,6	7,2	0	1,92	68
311	11,6	4,3	0	1,33	76,7
312	12,6	6,1	0	2,33	81,2
313	10,4	2,9	0	0,78	89,2
314	8	2,2	0	0,61	86,3
315	7,3	2,2	0	1,22	67,6
316	8	-2,5	0	1,03	73,7
317	7,9	-5,1	0	0,03	83,8
318	5,8	-5	0	0,08	93,1
319	1,1	-3,9	0,02	0,00	97,5
320	-0,1	-4,1	0	0,28	97,8
321	-0,3	-1,9	0	0,42	98,1
322	5,1	-0,5	0	0,00	95,3
323	2,6	0,6	0	0,17	92,4
324	2,1	-0,9	0	0,61	87
325	-0,6	-2,9	0	1,78	94,9
326	-2,3	-3,3	0	1,17	93,6
327	-0,4	-2,8	0	0,28	42
328			0	0,03	18,8
329			0	0,06	3
330	7,2	1,6	0,04	0,64	50,2
331	1,8	-2,7	0	0,72	96,1
332	9,9	-2,2	0	0,50	80,4
333	2,3	-2	0	1,89	91,8
334	1,1	-0,8	0	0,31	97,2
335	1,1	-0,8	0	1,11	97,6
336	-0,3	-1,4	0	1,06	98,1
337	1,7	-0,7	0,14	0,44	97,3
338	6,1	1	0	0,53	93,6
339	9,8	0,2	0	1,17	53,9
340	7,3	0,5	0,24	0,78	64,5
341	7	1	0,3	1,19	68,8
342	6,7	-1	0	1,81	54,6

343	4,2	-1,3	0	0,33	79
344	6,9	3,5	0	0,44	75,9
345	4,8	0,2	0	0,50	42,1
346			0	0,11	5,8
347	7,8	0,7	0,04	0,67	55,2
348	3,8	1	0	1,00	93,7
349	8,9	2,7	0,12	0,44	79,6
350	9,4	-0,1	0,38	1,83	76,9
351	8,7	2,4	0,06	2,19	67,3
352	5,4	1,1	0	1,19	67,1
353	2,4	-2,9	0	0,39	80,7
354	2,8	-5,4	0	0,56	71,6
355	4,6	-4,9	0,12	1,25	82
356	5	0,3	0	0,75	81
357	2,4	0	0,08	0,33	94
358	9,8	0,6	0	1,44	82,6
359	6	2,9	0	1,58	66,8
360	7,8	5,1	0	0,61	74,8
361	9,4	1,8	0	0,06	85,7
362	5,9	2	0	1,08	89,1
363	6,8	-0,6	0	1,11	79,6
364	6	0,4	0	1,42	69,1
365	6,2	-1,8	0	0,81	71,4

Tabelle 29 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2012

Tag	max. Temp. [°C]	min. Temp. [°C]	Niederschlag [cm]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Luftfeuchtigkeit [%]
1	1,5	-1,6	0,2	0,69	92,9
2	4	0,1	0,12	0,81	92,4
3	9,4	2,3	0,02	0,97	80,4
4	8,1	1,5	0	1,11	79,8
5	7	4	0,14	2,00	63,1
6	6,5	2,7	0	2,78	59
7	5,8	2,3	0,16	1,89	68,8
8	5,6	3,8	0,26	1,67	77,1
9	5,9	2,5	0,12	1,78	78
10	6,8	2,9	0,2	1,89	73,2
11	8,6	1,3	0	1,36	70,6
12	9,6	5,3	0	1,92	60,4
13	6,7	0,5	0,24	2,36	72,5
14	3,9	1,5	0	2,47	62,9
15	1,8	-1,4	0	2,06	61,7
16	1,2	-2	0	1,67	59,6
17	2,1	-0,9	0	1,94	78,7

18	6,1	-4	0	1,11	64
19	10,1	-3,4	0,48	1,56	76,9
20	10,3	1,9	0,38	2,31	74
21	4,7	0	0,92	1,28	77
22	8,8	2,1	0,18	2,42	71
23	8,3	4,2	0	2,11	67
24	5,3	0,6	0,2	1,31	83,6
25	2,2	-2,3	0	1,28	77,1
26	0,4	-2,9	0	1,28	73,3
27	-0,3	-4,1	0	0,58	77,1
28	2	-5	0	1,69	82,2
29	-0,1	-6,7	0	1,00	87,2
30	0,9	-9,2	0	0,47	74,6
31	-1,8	-9,7	0	1,08	72,5
32	-3	-12,2	0	0,56	68,2
33	-6,7	-14,1	0	1,08	57,3
34	-7,7	-15,5	0	1,42	53,7
35	-8,4	-12,4	0	2,53	35
36	-7,3	-12,5	0	2,06	45,3
37	-8,1	-13,1	0	2,25	56,9
38	-8,1	-11,2	0	2,42	76,8
39	-5,9	-12,5	0	1,31	67
40	-5,7	-11,3	0	1,25	76
41	-7,2	-12,8	0	1,33	70,6
42	-7,6	-15,6	0	1,31	67
43	-6,6	-14,9	0	1,22	63,2
44	-2,8	-13,5	0	1,33	64,4
45	-0,6	-5,1	0	1,11	70
46	5,5	-2,4	0,02	2,94	69,2
47	2,2	-3,4	0	2,61	64,1
48	5,2	-3,8	0,24	1,86	77,3
49	8,1	0,9	0	0,61	76,3
50	5,6	-0,4	0,12	0,94	83,9
51	5,1	-0,6	0	0,81	71
52	5,4	-5,5	0	0,31	73,1
53	8	-0,7	0	0,44	73,3
54	9,5	-2,9	0	1,19	77,9
55	12,8	5,8	0	2,33	70,9
56	12,9	6,1	0	1,72	62,1
57	7,7	0,4	0	1,83	67,7
58	5,5	-2,7	0	1,53	59,8
59	8,4	0,3	0,48	1,31	85,7
60	12,7	8	0	2,33	78,3
61	13,9	7	0	0,64	82,3
62	14,3	4,4	0	1,44	78
63	8,7	0,2	0	0,89	59,9
64	7,8	-0,9	0	0,69	56,2

65	9,3	-3,6	0	0,83	67,6
66	4,9	-2,6	0	0,86	56,9
67	5,5	-8,1	0	1,11	55,5
68	3,1	-1,5	0,2	0,97	73,9
69	8,5	1,6	0	1,25	67,1
70	11,2	-4,4	0	0,56	59,9
71	9,2	5,8	0	2,22	64,1
72	9,8	5,8	0	2,22	69,9
73	11,3	7,3	0	1,83	69,6
74	9,7	6,7	0	2,19	63,1
75	11,9	0	0	1,03	59,4
76	18,4	-2,7	0	0,31	63,6
77	19,6	-1,3	0	0,36	57
78	21,8	1,8	0	0,86	51,5
79	13,4	6,3	0	1,44	55,4
80	14,8	1,3	0	0,36	45,9
81	18,4	-1,4	0	0,14	50,3
82	19,1	3	0	0,17	58,8
83	21,1	3,6	0	0,08	59,1
84	20,6	5,2	0	0,28	57,4
85	20,4	7,5	0	1,67	48
86	15,8	5,6	0	1,36	38,1
87	18,3	-0,7	0	1,39	41,4
88	21	8	0	1,50	52,1
89	18,2	8,2	0,02	2,03	44,9
90	10,4	5,1	0,84	2,28	76,1
91	12,6	3,9	0,22	3,08	62,5
92	8,4	0,4	0	1,58	54,3
93	16,8	-0,8	0	0,47	50,9
94	18,9	3,2	0	0,31	57,7
95	22,5	4,7	0	0,11	61,1
96	18,4	7,6	0,14	0,75	66,3
97	11	6,8	0,04	0,94	78,6
98	11,2	4,6	0,04	0,69	77,7
99	5,8	-0,4	0	2,19	59,8
100	10,7	-2,4	0	0,78	45,6
101	15	0,6	0	2,53	39,5
102	19,4	6,6	0	2,03	44,5
103	11,3	2,8	0,46	1,22	78,3
104	15,4	0,1	0,02	0,06	80,3
105	14,5	7,4	0	1,03	68,3
106	11	8,1	0,06	1,28	78,6
107	8,9	4,4	0,66	2,06	87,1
108	10,7	2,8	0,06	1,53	64,2
109	15	-0,9	0	0,28	62,6
110	18,4	3,5	0	1,19	60,7
111	18,4	0,8	1,04	0,19	75

112	16,9	7,9	0	0,58	65,5
113	13,8	3,8	0,1	0,53	78,7
114	15,4	4,8	0	0,83	64,8
115	19,1	4,4	0	1,78	68,7
116	19,6	4,3	0	1,08	51,9
117	22,8	4,5	0	1,03	61,1
118	24,8	7,5	0	0,36	57,8
119	27,7	7,2	0	1,33	52,6
120	28,9	13,9	0	2,19	36,9
121	29,3	8,7	0	0,97	46,9
122	29,6	10,3	0	0,78	51,5
123	29,8	10,7	0	0,58	51,8
124	22,2	11,3	0,06	0,72	65,4
125	18,6	9,5	0,36	0,67	75,3
126	23,5	6,3	0	1,14	75,3
127	22,6	7,4	0,3	0,44	70,4
128	18,8	10,7	0,14	0,56	70
129	21,7	7,8	0	0,08	60,7
130	25,6	6,8	0	0,64	59,5
131	26,8	10,5	0	0,25	58,3
132	28,9	10,6	0	0,25	55,8
133	23,7	10,7	0,08	1,17	74,6
134	15	6,3	0	1,14	49,5
135	14	7,7	0	0,64	57,5
136	19	7,5	0	0,28	52,1
137	12,4	6,8	0	1,56	66,7
138	14,6	4,3	0	1,81	51,1
139	17,9	-0,3	0	0,67	45,9
140	23	6,8	0	1,06	47,1
141	26,2	9,2	0	1,69	50,7
142	25,9	13,7	0	1,00	56
143	22,3	13,8	1,22	0,39	79,8
144	28,6	15	0,06	0,42	63,4
145	26,5	16,2	0	1,00	49
146	22,6	12,2	0	1,06	41,9
147	23,4	8,1	0	0,36	43,9
148	24	10	0	0,11	41,1
149	24	8	0,48	0,22	61,2
150	26,2	8	0	0,44	60,9
151	25,9	14,4	0,06	0,75	61
152	24,8	13,6	0	0,36	61,5
153	20	14,6	0,68	0,97	70,8
154	22,7	12	0	0,36	72,7
155	27,5	10,7	0,12	0,33	77,6
156	21,5	13,8	0,56	0,61	80,6
157	18,1	11	0,04	1,56	68,7
158	21	6,5	0	0,11	62,9

159	27,3	13,3	0	0,36	63,2
160	28,4	14,3	0,38	0,56	63,2
161	18,2	14	0,08	0,33	83,3
162	20,8	10,6	0,5	0,33	86,4
163	21,3	12,5	0,02	0,11	76,5
164	23,2	12,9	0,06	0,56	76,8
165	19,1	12,2	0,66	1,89	75,5
166	23,6	13,5	0	0,97	58,2
167	26,2	11,6	0	0,11	64,3
168	31,1	13,2	0	1,31	56,9
169	30,9	16,6	0	0,14	56,9
170	33,2	15,3	0	0,92	55,8
171	32,7	16,5	0	0,19	58,4
172	34,3	17,1	0,1	0,75	57,8
173	30,7	19,6	0,42	0,19	68,1
174	28,2	18,7	0,1	1,06	61,6
175	27	17,3	0,06	0,28	62
176	30,4	12,6	0,1	0,67	58,2
177	21,6	16,5	1	0,86	70,5
178	23,8	14,6	0	1,25	49,4
179	26,2	12,5	0	0,61	50,3
180	29,1	16,3	0,04	0,36	59,3
181	32,6	17	0	0,42	61,5
182	36,4	17,9	0	0,72	56,7
183	35,6	22	0	0,58	51
184	35	19,7	0	1,11	50,8
185	35,9	19,8	0,12	0,72	54,3
186	31,4	19,6	0,58	0,25	69,9
187	35,4	18,2	0,12	0,78	61,2
188	35	16	0,18	0,61	64,2
189	31,5	17,8	0	0,39	61,7
190	32,8	19,3	0,16	0,81	61,9
191	28,2	19,5	0,3	1,14	61,6
192	31,1	18,3	0,56	0,31	64
193	28,3	16,3	0	0,67	64,1
194	23,6	18	0,3	1,47	56,2
195	18,5	12,3	1,06	0,19	81,9
196	22,8	12,1	0,3	0,61	84,6
197	20,4	14,1	0,16	0,64	77,3
198	22,2	13,5	0	1,53	60,3
199	22,6	10,9	0	1,36	63,3
200	26,6	16	0	1,25	55
201	31,9	12,4	1,24	0,42	66,7
202	20,2	15,3	1,14	0,06	78,1
203	19,8	14,7	1,68	0,36	82,3
204	19,2	13,5	0,02	1,42	73
205	26,1	11,3	0	0,69	56,4

206	30,4	13,4	0,1	0,28	60,7
207	20,1	18,4	0,24	0,08	90
208	24,7	19,4	0	0,39	79,7
209	31,4	17,3	0	0,17	67,3
210	32,1	18,2	0,44	1,19	67,8
211	26,4	19,7	0,08	0,33	75,2
212	24,6	17,3	0	0,89	61,7
213	26,7	17,2	0	0,22	71,2
214	30	18	0	0,61	51
215	31,6	19,1	0	0,75	67,6
216	26,3	17,3	0,62	0,25	66,8
217	30,4	16,8	0,66	0,33	73,3
218	32,2	17,6	0	0,64	59,1
219	34,7	18	0	1,17	52,7
220	26,2	18,1	0	0,47	52
221	25,7	18,2	0	0,42	49,2
222	26,1	16,2	0	0,64	51,5
223	23,8	16,4	0,38	0,97	70
224	18	12,3	0	0,39	61,9
225	23,5	11,5	0	0,25	54,1
226	24,3	9,5	0	0,53	47,6
227	25,5	9,3	0	0,17	49,8
228	28,3	9,2	0	0,81	55,2
229	27,7	11,5	0	0,64	59,8
230	28,1	16,7	0	0,03	54
231	29,7	14,8	0	0,14	51,1
232	31,5	12,6	0	0,56	46,7
233	35,9	14,1	0	0,64	57,1
234	30,9	15,5	0	0,36	57,8
235	34,9	15,2	0,12	0,28	59,2
236	31,8	19,1	0	0,56	51,1
237	34,2	18	0	0,11	60,8
238	27,7	16,6	0,18	1,19	73,6
239	20,2	16,7	0	1,06	63,1
240	22,5	10,6	0	0,64	59,8
241	27,1	7,7	0	0,14	53,3
242	29,8	15,1	0	0,78	50,9
243	30,8	12,4	0,96	1,39	78,9
244	21,9	13,3	1,02	1,00	88,9
245	16,7	13,1	0	0,19	78,4
246	25,7	14,8	0	0,44	74,8
247	25	15,9	0	0,69	67,1
248	26,5	16,2	0	0,56	60,5
249	27,4	15,6	0	1,47	59,3
250	21,3	11,7	0	0,44	56,7
251	24,1	7	0	0,36	50,1
252	27,1	14,7	0	0,19	56,4

253	27,9	12,4	0	0,78	49,4
254	29,5	15,2	0	0,50	49,6
255	30,7	13,6	1,54	0,25	76,1
256	23,7	11,3	0,76	0,00	81,1
257	12,6	8,8	0	0,00	65,9
258	17,9	11,1	0	0,39	64,8
259	19,8	9,8	0	0	67,9
260	21,5	9,7	0	0,06	67,1
261	23,8	10	0	0,00	72,4
262	25	10,6	0,12	0,00	83,9
263	19,1	11	0	0,03	64,4
264	16,9	5,1	0	0,00	66,4
265	18,1	2	0,06	0,00	72,7
266	16,6	9,8	0	0,00	75,9
267	17,3	7,5	0,02	0,03	70
268	25,9	6,8	0,14	0,03	68,6
269	23,6	12,1	0	0,53	65,8
270	26,8	11,1	0	0,50	66,4
271	20,7	13,5	0	0,53	57,3
272	22,6	10,2	0,28	0,06	81,2
273	19,9	6,9	0	0,03	73,8
274	19,7	9,7	0	0,06	72,8
275	23,7	10,8	0	0,00	80,6
276	17,8	10,3	0	0,00	68,5
277	22,3	7,8	0,16	0,08	74,2
278	22,5	6,1	0	0,03	72,2
279	20,5	7,5	0	0,06	68,6
280	24,9	7	0,5	0,25	77,5
281	17,2	7,9	0	0	67
282	14,8	3,4	0	0	79,8
283	13,7	3,5	0	0	69,9
284	14,2	4,4	0	0	68,4
285	14,5	2,7	0,16	0	74,7
286	12,5	8,4	0,02	0	70,8
287	15,6	9,4	0	0,39	77,2
288	17	4,4	0,22	0,83	76,8
289	19,4	8,3	1,34	0,00	85,9
290	8,7	5,9	0	0,00	87,9
291	12,2	1	0,02	0,00	83,8
292	18,6	5,8	0	0,00	86,3
293	17	4,7	0,02	0,00	93,3
294	13,6	3,5	0	0,00	95,2
295	11,9	7,5	0,02	0,00	91,9
296	16	4,2	0,02	0,00	93,7
297	10,4	5	0	0,00	86,2
298	11,2	9	0	0,08	78,6
299	11,4	8,1	0,02	0,19	81,3

300	10,1	7,6	1,72	0,22	92
301	11,3	0,4	0,04	0,03	78,2
302	4,9	0	0,48	0,00	88,2
303	2,2	-0,2	0	0,00	78,1
304	6,3	-1,4	0	0,56	84,6
305	8,7	-0,5	0,24	0,03	90,2
306	7,5	4	0,06	0	95,4
307	8,2	1,5	0	0	93
308	9	2	0,02	0,17	93,8
309	13,7	1,6	1,26	0,06	83,3
310	13,5	2,8	0,08	0,06	71,4
311	10,5	3,8	0	1,78	69,4
312	9,3	3,4	0	0,00	80,7
313	12,5	1	0	0,00	0
314	8	0	0	2,86	78,5
315	9,9	3,8	0	2,56	79,1
316	10	6,9	0,02	0,00	88,7
317	10,1	7,2	0,02	0,00	87,1
318	11,4	4	0	0,00	90
319	6,6	-1,8	0,02	0,19	87,6
320	9,7	0	0	0,25	84,5
321	9,1	1,6	0	0,5	84,8
322	8,6	5,2	0	0	94,3
323	7	3,7	0	0	95
324	7,5	4,1	0	0	96,9
325	6,5	2,9	0	0	92,5
326	9,1	5,1	0	0	88,8
327	7,6	3,3	0,12	0	93,7
328	7,6	4,7	0	0	91,7
329	8,5	5,8	0	0	89,9
330	9,3	5,8	0	0	94,7
331	7,8	5,9	0	0	92,7
332	8,4	6,3	0	0	83,8
333	15	4,5	0	0	74,3
334	10,8	4,5	0	0	69,8
335	5,2	2,6	0	0	75,6
336	5	-0,1	0	0	77,7
337	3,2	0	0	0	74,6
338	4,1	-3,4	0,18	0	86,4
339	4,5	-2,5	0	0	78,2
340	5,7	0	0,02	0	82,3
341	3,3	-3,5	0	0	76,7
342	-0,1	-5,7	0	0	77,2
343	-2,8	-6,2	0	0	71,7
344	0,3	-6	0,02	0	86,4
345	2,4	-3,1	0	0	82,6
346	2	-3,3	0	0	66,5

347	-1,9	-4,9	0	0	81,5
348	-3	-11,7	0	0	81,9
349	2,1	-9	0,74	0	91,3
350	3,9	0,6	0,08	0	97,8
351	2	-0,8	0,04	0	97,8
352	2,4	0,8	0,08	0	98
353	2,3	0,9	0,08	0	92,4
354	4,5	1,7	0,02	0	85,2
355	3,1	-2	0	0	91,8
356	0,2	-1,3	0	0	89,9
357	-0,4	-1,6	0,4	0	95,5
358	0,7	-0,7	0,3	0	97,7
359	0,3	-0,1	1,06	0	98
360	0,7	-0,1	0,1	0	91,5
361	8,3	0,1	0,04	0	87,1
362	6	0,6	0,06	0	80,2
363	8,1	-2	0	0	82,9
364	1,4	-5,9	0	0	81,4
365	2,2	-2,6	0	0	88,7
366	3,4	-4,5	0	0	88

Tabelle 30 Wetterdaten von Gross- Enzersdorf des Jahres 2013

Tag	max. Temp. [°C]	min. Temp. [°C]	Niederschlag [cm]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Luftfeuchtigkeit [%]
1	1,3	-2,2	0	0	88,9
2	3,9	-2,3	0,1	0	89,3
3	6,7	-2,3	0,18	0	77,5
4	10,1	6,8	0,08	0	71,6
5	10	3,5	0,08	0	78,1
6	6,9	3,4	1,12	0	84,6
7	6,7	-1,8	0,1	0	78,2
8	-1	-2,6	0	0	90
9	3,8	-0,9	0,9	0	95,3
10	7,1	0,1	0,06	0	82,7
11	4,2	-2,6	0,02	0	68,2
12	0,4	-7,6	0	0	74,3
13	-2,4	-4,8	0	0	90,4
14	-0,8	-4,2	0	0	91,8
15	0,5	-3,5	0,02	0	88,4
16	0	-1,4	0	0	81,7
17	-1,1	-3	0	0	91,7
18	-2,9	-4,5	0	0	85
19	-3,6	-5,5	0	0	81,3
20	1,1	-4,3	0	0	94,8
21	1,3	-0,6	0,38	0	88,3
22	1,4	-2,8	0,02	0	79,4

23	-1,1	-4,9	0	0	85,3
24	-1	-3,3	0	0	89
25	-2,4	-5,5	0	0	74,7
26	-3,8	-18,4	0	0	77,4
27	-4,9	-18,1	0	0	87,4
28	1,2	-8,5	0,2	0	90,6
29	6,6	-9,1	0,36	0	85,4
30	14,1	6,3	0,46	0	74,4
31	10,5	6,1	0,02	0	52,9
32	10,2	3,5	0,02	0	67,8
33	7,4	2,6	0,16	0	80,6
34	4,1	0,3	0	0	58,9
35	7,3	0,6	0,1	0	73,5
36	9,1	1,1	0,02	0	78,6
37	3,9	-0,2	0,24	0	82,6
38	4	-1	0	0	72,2
39	2,8	-2	0	0	72,1
40	0,7	-2,9	0	0	75,5
41	-1,3	-3,2	0	0	82
42	-0,4	-10,5	0	0	83,4
43	-0,1	-3,6	0	0	90,5
44	0,5	-1,4	0,08	0	85,5
45	0,6	-1,1	0,04	0	86,5
46	3	-2,4	0,06	0	90
47	3,7	-2,1	0	0	80,7
48	3	-1,4	0	0	78,1
49	3,6	-0,6	0	0	78
50	3,1	-0,9	0,04	0	78,6
51	2,3	-3,7	0	0	69,9
52	0	-4,8	0	0	69,6
53	-2,3	-5,7	0	0	85,7
54	0,5	-2,7	0,52	0	90,5
55	0,6	-1,9	0,02	0	95
56	1,4	-0,1	0,58	0	92,4
57	4	1,1	0,1	0	88,4
58	3,7	1,7	0	0	82,1
59	7,5	1,4	0	0	82,8
60	3,8	1,9	0	0	78,1
61	5,8	-2,1	0	0	67,5
62	7,7	-4	0	0	69,2
63	8,3	-1,3	0	0	64,5
64	10,3	0,3	0	0	57
65	15,8	5,2	0	0	57,1
66	18,6	8,1	0	0	69,2
67	13,6	6,8	0	0	82,6
68	10,3	5,9	0	0	81,1
69	12,1	3,6	0	0	84,7

70	10,9	1,8	0,02	0	76,7
71	7	-0,2	0	0	69,1
72	9,1	-0,1	0	0	73,5
73	-1	-2,8	0	0	72,5
74	1,6	-3,8	0	0	52,8
75	2,8	-5,3	0	0	55
76	4,2	-6,2	0	0	55,6
77	2,9	-0,5	0,14	0	82,4
78	9,5	-0,9	0,02	0	71,9
79	12,9	-2,6	0	0	65,4
80	8,9	1,1	0,04	0	63,5
81	3,7	-2,7	0	0	57,5
82	3,7	-4,2	0	0	53,3
83	-1,6	-6,5	0	0	64,9
84	-1,5	-4	0	0	84,1
85	-2,1	-4,8	0	0	86,7
86	1,6	-4,5	0,24	0	78,7
87	3,4	-4,4	0	0	77,7
88	6,4	0,5	0,14	0	89,3
89	5,1	1,5	0,8	0	91,5
90	3,3	-0,1	0,22	0	89,7
91	4,5	-0,8	0	0	70,4
92	4,5	0,8	0	0	72,6
93	1,2	-0,3	0	0	92,3
94	6,7	0,6	0	0	73,8
95	7,6	1,9	0	0	84,6
96	6,3	2,9	0	0	79,8
97	5,2	1,2	0	0	77,4
98	9,4	-0,3	0	0	65,9
99	13,9	0,7	0,02	1,86	66,5
100	13,9	1,6	0,06	2,50	69,9
101	18,3	0,8	0	3,17	66,1
102	16,1	5,1	0,12	2,86	73,8
103	17,4	4,3	0	3,00	52,7
104	18,5	5,1	0	1,94	52,6
105	19,5	3,4	0	3,33	52,4
106	20	6,4	0	5,08	46,7
107	23,5	9,2	0	1,69	60,2
108	24,7	8,1	0	3,25	58,4
109	17,4	11	0,16	3,22	78,6
110	16,7	8,4	0	4,00	73,1
111	21,9	6,9	0	1,89	64
112	22,8	6,4	0	1,86	58,1
113	21,9	9,3	0	1,92	56,6
114	23,6	9,9	0	1,42	56,6
115	25,6	8	0	1,92	55,4
116	28	9,1	0	3,00	47,6

117	26,6	15,9	0	5,47	43,4
118	21,6	10,4	0	3,22	63,5
119	19,5	7,8	0	2,22	71,3
120	24,2	10,7	0	2,92	63,3
121	23,4	12,5	0	2,89	63,7
122	18,3	11,9	1	2,00	87,2
123	17,1	12,8	1,28	3,03	82,3
124	20,6	11,9	0,7	2,42	75,5
125	20,6	12,6	0,02	2,22	72,3
126	21,5	13,7	0,14	1,97	80,1
127	21,7	13,9	0,5	2,92	84
128	22,4	12,5	0	2,06	82,4
129	24,9	11,7	0	3,81	65,4
130	24,4	12,5	0,08	4,42	64,5
131	13,7	11,7	0,58	3,67	86,9
132	16	10,5	0,08	4,08	76,9
133	17,1	8	0	4,53	61,1
134	20,3	7,4	0	2	68,5
135	22,9	8,3	0	5,56	60
136	24,7	13,2	0	6,22	57,7
137	22	13,6	0,02	4,94	75,2
138	21,5	12,4	0,02	2,75	73,1
139	25,7	11	0,02	5,11	62,8
140	19,4	10,3	0,02	2,42	63,5
141	20,5	7,4	0,02	2,31	68,7
142	20,1	7,8	0,02	2,78	68,8
143	18,7	8	0	4,11	61,9
144	14,9	7,9	0	3,14	64
145	13,9	7,5	0	2,56	71,8
146	15,7	7,2	0	4,64	61
147	12,3	8,7	0,02	5,19	71,6
148	21,2	9,2	0	2,72	69,4
149	23,2	10	0	4,78	65
150	12,7	9,9	2,06	4,11	79,9
151	12	8,1	0,22	2,36	83,6
152	18	7,9	0,08	2,86	72,4
153	15,5	10,6	0,18	2,86	85
154	12,4	9,6	0,38	4,14	81,8
155	13,2	9,5	0,32	3,39	82,2
156	16,7	12	0,12	2,86	83,3
157	19,3	10	0	2,56	78
158	21,6	13,3	0	2,56	76,1
159	26,1	13,2	0	1,81	72,7
160	27,2	11,5	0	3,44	67,1
161	24,6	14	0,94	2,11	72,4
162	18,6	11,9	3,1	2,75	85,6
163	22,1	9,9	0	3,33	66,2

164	25,3	12	0	1,78	62,8
165	23,4	10,9	0	2,75	68
166	26,9	14,7	0	1,58	73,8
167	27,1	17,4	0	1,33	73,5
168	31,3	16,2	0	1,72	73,3
169	32,2	19,6	0	2,06	70,5
170	32,8	19,5	0	1,81	69,4
171	32,8	22	0	3,94	66,4
172	29,3	18,4	0	2,22	63,5
173	27,2	18,5	0,02	2,69	69,8
174	27,3	16,8	0,3	2,67	63,1
175	16,6	12,2	2,96	4,28	87,7
176	16,2	12,1	0,48	4,47	75,7
177	15,3	8,9	0,04	3,36	73,3
178	18	7,2	0	2,28	66,8
179	20,2	8,4	0	2,78	65,5
180	21,8	11,5	0	2,58	60
181	20,2	11	0,02	3,42	62,7
182	23,8	7,7	0	1,50	63,3
183	27,4	10,4	0	1,86	64,6
184	27,7	13	0	2,97	62,8
185	26,7	13,5	0	2,17	67,9
186	26,8	17,1	0,26	3,25	72,4
187	25,5	17,6	0	3,17	72,1
188	26,9	16,7	0	2,58	65,6
189	26,1	15,5	0	2,69	58,4
190	28,4	15	0	1,69	60
191	28,2	14,9	0	1,89	60,4
192	22,2	14,6	0,8	3,56	66,1
193	23,1	14,2	0	2,89	57,8
194	23,8	12,8	0	2,03	60,8
195	25,7	14,2	0	2,31	58,5
196	24,8	12,3	0	2,75	58,9
197	26	11,1	0	1,58	60
198	29	10,4	0	1,00	59,8
199	30,1	13	0	1,22	59,1
200	30,3	16,5	0	1,53	54,1
201	27,4	16,3	0	2,58	55,3
202	27,3	14,7	0	2,11	51,6
203	29,7	11,2	0	1,14	55,9
204	31,8	12,6	0	1,67	52,1
205	31,7	16,1	0	1,28	48,6
206	28,5	18,2	1,32	1,64	70
207	31,7	16,1	0,04	0,86	70,7
208	34	18,6	0	1,17	60,2
209	35,6	20,6	0	2,83	53,7
210	32,5	20,4	0	2,92	60

211	26,8	17,1	0	3,47	59,1
212	26,4	15,8	0	2,06	59,7
213	30,3	16,8	0	1,53	59,9
214	34,3	14,2	0	1,36	56,8
215	36,2	16,4	0	1,11	51,7
216	33,8	19,3	0,5	2,11	55,4
217	30,9	17,2	0	1,11	71,6
218	35,4	18	0	1,53	59,2
219	34,8	17,9	0,22	2,64	51,2
220	38,1	19,8	0	2,17	44,5
221	30,5	17,7	1,4	3,42	70,2
222	23,4	14,5	0	3,72	68,1
223	26,7	12,6	0	2,03	62,2
224	28	14,7	0,44	2,00	63
225	24,1	16,1	0,02	1,81	73,6
226	23,2	13,9	0	1,67	61,4
227	24	10,9	0	1,58	54
228	26,8	7,7	0	1,11	59,4
229	30,2	11,2	0	1,11	57,1
230	18,3	13,6	0	1,86	53,9
231	31,3	16	0	2,28	60,1
232	20	15,4	0,4	4,19	71,9
233	23,3	13,9	0	3,03	63,9
234	24	11,7	0	2,03	60,6
235	25,6	11,8	0	1,44	60,6
236	18,7	13,6	0,44	1,53	84
237	21,7	13,3	0,74	1,47	86,1
238	17,2	14,4	0,02	1,81	91,9
239	18,7	14,5	1,48	1,53	92,2
240	18,9	14,4	0,38	2,47	88,9
241	23,2	12,6	0	2,75	68,2
242	23,9	11,3	0	1,53	69,1
243	25,7	9,3	0	1,11	64,8
244	21,7	11,6	0	2,67	58,7
245	20,5	10,4	0	3,94	56,8
246	21,5	17,4	0	3,78	62,3
247	24,3	13,4	0	0,92	73,7
248	25,8	11,8	0	0,97	70,4
249	25,9	10,5	0	2,36	63,4
250	26,8	11,7	0	2,61	57
251	27,5	11,8	0	3,78	47,3
252	20,2	13	0,08	3,11	58,7
253	23,8	10,3	0,26	3,25	70,8
254	18,7	11,6	0,06	2	73,4
255	20,6	11,4	0	2,53	62,9
256	15,1	10,7	1,1	2,61	78,8
257	18,5	12,3	0,5	2,50	77,9

258	21,2	9	0	1,03	79,6
259	21,1	12,1	2,72	1,58	80,7
260	13,1	8,1	1,36	2,92	82,4
261	15,7	5,2	0,12	2,06	82,6
262	16,6	9,6	0,32	2,94	73,7
263	16,8	8,7	0,08	1,83	80,4
264	17,3	11,9	0,26	2,22	79,8
265	18,5	9,2	0	1,94	74
266	18	13,2	0	3,14	63,6
267	19,5	8,8	0	2,53	67,7
268	18,9	9,2	0	1,36	78,7
269	20,2	9,8	0	2,36	78,3
270	14,8	5,2	0	1,44	68,1
271	16,3	2,4	0	1,00	72,2
272	14,6	3,7	0	1,56	76
273	14,2	7,5	0	1,78	68,4
274	13,4	3,7	0	2,94	65,2
275	13,3	1,7	0	2,36	61,9
276	11,4	-2,1	0	2,36	63,5
277	12,3	1,3	0	4,78	55,8
278	13,2	3,2	0	5,14	56,2
279	10,2	7,7	0,16	1,36	91
280	13,7	4,1	0	1,11	89,6
281	19,3	3,8	0,02	2,22	72,7
282	15,9	8,2	0,06	0,83	84,8
283	16,5	6,8	0,72	4,06	85
284	16,3	6	1,1	2,47	91,3
285	17,7	4,7	0,02	3,00	83,8
286	14,9	3,6	0	1,72	82,7
287	12,5	3,2	0	1,36	93,7
288	16,7	8,1	0	1,67	84,2
289	12,1	7,9	0,16	4,17	77,2
290	14,5	4	0,06	2,64	77
291	15,9	6,8	0	3,69	62,4
292	16,2	4,3	0	3,64	75,6
293	16,9	3,6	0	1,94	83,1
294	23	6,8	0	1,31	77,4
295	16,4	6,3	0	1,81	92,3
296	21,8	9,4	0	1,67	87,6
297	17,2	9	0,26	1,19	92,4
298	14,1	7,7	0,02	1,33	95,4
299	17,7	9,9	0	1,64	92,2
300	17,9	10,1	0	2,25	84,6
301	21,1	11,1	0,04	2,72	79,6
302	15,1	7	0,08	1,50	85,3
303	12,6	7	0,12	2,00	84,1
304	13,3	1,6	0	1,97	84

305	13,8	2,4	0	1,19	86,5
306	10,1	4,7	0	1,97	90,9
307	12,4	4,3	0,24	2,42	83,9
308	11,1	6,4	0	4,42	81,1
309	10,1	1	0,7	1,92	82,3
310	11,7	0,5	0,16	4,03	78,1
311	18,4	7,2	0,08	3,36	73,5
312	14,4	3,9	0	1,81	89,9
313	12,3	6,9	0,52	1,83	88,6
314	11,5	5,8	0,18	3,03	86,2
315	8,3	4,2	0,62	5,78	78,1
316	8,3	1,9	0	1,97	83,2
317	7,6	3,3	0	3,42	80,9
318	6,4	-1,1	0,02	1,86	87,2
319	7,5	2,7	0,02	0,89	90,6
320	9,5	0,4	0	1,33	92,3
321	8,5	0,6	0	2,83	94,9
322	7,8	4,8	0	6,56	87,6
323	7,3	5,6	0	6,33	88,5
324	8,8	1,4	0,14	2,58	83,2
325	7	1,7	0	3,58	91
326	7,2	5	0	2,53	91,4
327	9,3	6,3	0,06	3,53	85,6
328	8,9	4,2	0,38	5,11	82,8
329	4,2	0,3	0	7,61	65,3
330	2,1	-0,3	0	5,42	75,4
331	3,3	-3,1	0	4,47	70,7
332	2,9	-4,4	0	2,89	68,9
333	5	1,9	0	3,58	68,7
334	7,3	1,1	0	2,39	72,6
335	7,3	2,7	0	2,06	67,5
336	7,7	-1,8	0	3,17	70,1
337	4,4	-5	0	2,83	82,3
338	3,1	-5	0	2,17	87,3
339	6,5	1,5	0,06	3,64	72,7
340	6,7	0,6	0,14	6,14	67,8
341	3,9	-0,7	0	4,75	65,2
342	7,5	1,1	0	3,11	73,1
343	7,6	6,2	0,04	5,50	69,4
344	7,7	3,4	0	2,44	74,2
345	3,4	0	0	2,39	77,8
346	1,2	0	0	1,14	91
347	1,7	-0,3	0,02	1,67	96,4
348	3,6	-1,9	0	1,94	93,2
349	8,7	-1,3	0	1,78	76,8
350	0	-1,7	0	3,44	97,1
351	-1,1	-2,1	0	4,86	96,5

352	-1,3	-2,2	0	3,31	93,5
353	-2,1	-3,3	0	3,64	91,9
354	1,6	-2,3	0	1,94	95,2
355	4,9	-4,4	0	1,94	92,5
356	2,4	1,1	0	2,72	96,1
357	3,7	0,8	0	3,22	96,9
358	11	2,4	0	7,53	81,3
359	13,1	6,9	0	7,83	65,4
360	11,5	6,5	0,2	6,11	74,4
361	9,2	3,2	0,04	2,25	80,2
362	8,1	3,6	0	6,56	86
363	8,6	0,7	0	2,22	76,7
364	6,5	1,9	0	2,00	77,1
365	4,2	1,7	0,08	3,11	91,1

Tabelle 31 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2014

Tag	max. Temp. [°C]	min. Temp. [°C]	Nieder-schlag [cm]	Wind-geschwindigkeit [m/s]	Luft-feuchtigkeit [%]
1	5,8	2,5	0	4,33	89,1
2	7,8	1,5	0,08	3,97	81,4
3	3,4	-1,8	0,02	1,47	94
4	8,2	2	0	4,33	95,3
5	11,8	6	0,02	3,19	79,7
6	9,6	0,6	0	1,72	85,6
7	5,6	2,1	0	2,42	91,7
8	5	2,5	0	2,67	95,1
9	4,3	2,4	0	3,83	97
10	9,4	-0,6	0	3,11	76,6
11	8,1	-2,8	0	1,56	85,2
12	8,1	-3,6	0	3,06	66,9
13	4,8	-6,3	0	1,19	85,3
14	6,3	-0,4	0,08	2,64	85,6
15	7,5	-2,6	0	2,00	75,9
16	8,1	-3,2	0	2,67	88,4
17	5,4	0,5	0	1,53	89,4
18	8,9	2,3	0	1,64	92,8
19	13,1	3,6	0	4,86	76,9
20	9,5	5,7	0,02	3,08	88,8
21	6	2	0,2	3,58	84,2
22	3	-0,9	0,02	3,50	82
23	-0,5	-2,1	0	2,39	77,4
24	0,1	-2	0	2,61	88,7
25	-1,3	-9,6	0	5,42	67,4
26	-5	-10,6	0	1,89	67,8
27	-3,3	-5,8	0	4,00	83,5
28	0	-3,4	0	1,94	83,7

29	-0,8	-2,9	0	3,69	86,4
30	0,6	-3	0	6,31	82,6
31	0,4	-2,4	0	7,56	79,3
32	-1,4	-4,2	0	7,53	78,6
33	0	-1,7	0	5,25	88,2
34	1,8	-2,8	0,02	4,72	82
35	0,2	-2,4	0	6,69	83,1
36	2	-1,9	0,04	7,81	83
37	5,3	-1,5	0,04	2,36	90,7
38	8,2	-0,9	0	4,22	90,5
39	9,7	0,4	0,02	3,42	85
40	5,6	1,2	0,4	1,81	89,4
41	7,6	-2	0	5,39	76,4
42	9,2	0,8	0,08	2,36	78
43	7,2	0,3	1,52	2,64	83
44	7,8	-3,5	0	2,86	83,5
45	9,5	-0,5	0	3,06	59,1
46	9,8	1	0	5,31	73,5
47	8,7	-1,1	0,04	1,78	79,4
48	8,1	0,6	0	1,36	82,2
49	5,8	-2,7	0	3,31	91,7
50	7,3	4,3	0,7	2,03	87
51	12,4	2,1	0	1,94	79,9
52	10,3	2,3	0	2,69	87,7
53	8,6	4,3	0	3,44	74,5
54	11	2,4	0	3,56	63,2
55	10,7	-2	0	2,50	74,7
56	11	2	0	5,00	79,2
57	7,5	0,9	0	2,89	84,9
58	8,9	0,2	0	1,67	83,2
59	9,6	-0,9	0	1,94	83,2
60	12,9	-0,9	0	3,06	77
61	12,9	0,3	0	1,33	70,8
62	9,5	0	0	3,47	81,9
63	10,6	4,2	0,06	1,81	80,8
64	12,6	2,5	0	4,47	70,2
65	9,8	4,8	0	5,53	62,5
66	8,4	1,1	0	3,39	64,6
67	13,4	1,1	0	3,39	59,9
68	12,6	0,1	0	2,17	62,1
69	12,2	-3,1	0	1,72	59
70	16	-2,8	0	2,58	46,1
71	15,7	3,3	0	3,19	42,1
72	16	-2	0	1,75	52,2
73	19,2	-0,5	0	1,50	53
74	15,6	3,9	0,2	4,53	56,1
75	13,7	7,5	0	6,53	62,5

76	17,2	11,9	0	5,08	49,8
77	20,5	3,8	0	1,97	52,6
78	13,6	8,5	0,06	3,75	55,4
79	20,2	9,3	0	2,92	43,9
80	21,9	3,9	0	3,75	53,8
81	21,4	4,2	0	3,83	56,8
82	13	4,2	0,42	2,28	77,4
83	8,2	4	0,04	3,61	72,8
84	10,5	2,1	0	2,61	64,6
85	13,6	1,1	0	1,58	61,8
86	16,5	1,6	0	2,00	58,9
87	17,5	5,6	0	2,67	55,6
88	19,1	4,4	0	1,75	60,8
89	21,4	2,9	0	1,72	57
90	20,1	1,5	0	2,03	57,9
91	18,4	4,9	0	1,75	57,5
92	18,2	3,7	0	2,50	61,6
93	21	6,3	0	1,42	63,2
94	17,8	6,7	0	1,22	73,8
95	18,6	5,2	0	1,81	69,4
96	18,1	8,5	0,1	1,92	74,1
97	21,8	5,8	0	1,67	68,2
98	23,6	5,9	0,88	2,39	67,3
99	12,8	4	0	4,81	51
100	12,6	4,6	0,5	3,94	70,4
101	14	2,6	0	2,03	65,2
102	16,4	1,3	0	1,56	64,7
103	14,7	2,4	0,04	1,67	78,3
104	15,7	3,7	0,24	4,06	73,5
105	8	4,8	0,3	4,31	72,6
106	12	3,3	0,02	5,25	63,4
107	14	2,6	0	4,44	57
108	18,4	1,6	0	2,53	52,6
109	20,3	7,2	0,42	3,75	72
110	17,5	6,6	0	2,22	76
111	17,7	8,4	0	4,08	79,9
112	19,9	11	0,06	1,50	78
113	21,1	9,7	0	2,25	73
114	22,9	11,7	0,38	2,81	69,9
115	18,9	12,3	0,32	1,67	84,3
116	17,8	11,5	1,4	2,00	88,9
117	20,6	9,4	0	3,83	70,6
118	21,1	11	0,14	2,53	73,9
119	19,9	11,6	2,14	2,61	78,8
120	22,3	9,8	0	2,03	66,2
121	21,4	9,3	0	2,22	65,1
122	23,6	6,2	0,14	2,00	66,2

123	11,9	7,2	0	5,03	76,7
124	15,2	5,1	0	6,47	53,8
125	15	3,5	0	2,28	60,4
126	20,7	3,3	0	3,92	57,1
127	19,5	9,9	1,26	2,03	72,3
128	20,5	8,3	0	2,31	63,3
129	21,8	7	0,04	3,64	70,3
130	21,5	12,2	0	2,53	59,7
131	17,9	8,5	2,72	2,28	85,8
132	17,4	7,4	0	2,92	59,7
133	15,3	5	0	1,86	71,2
134	14,6	8,4	0	6,39	61,5
135	12	8,1	0,26	7,50	71,1
136	11,6	8,5	0,76	5,67	81,6
137	12	8,5	0,08	3,58	85,2
138	15,3	9,4	0,64	2,72	85,9
139	21,8	9,3	0	3,75	75,2
140	24	9,5	0	3,00	65,2
141	24,9	12,1	0	4,14	65,2
142	26,5	15,5	0	4,78	61,6
143	27,5	16,4	0	4,61	63,3
144	25,1	15,4	0,34	2,47	77,3
145	25,7	15,1	0	2,44	63,6
146	25,4	13,5	0,06	1,64	74,1
147	23,2	14,1	0	2,03	75
148	17,4	12,8	0,04	3,56	73,1
149	15,9	9,1	0,18	3,08	80,9
150	13,9	8,4	0,02	3,86	71,7
151	19,9	9	0,18	3,17	63,2
152	20,8	11,1	0	2,86	60
153	21	10	0	2,28	61,7
154	21	10	0,02	1,39	73,1
155	23,1	9	0	1,72	67,6
156	20,8	12	0	1,69	70,4
157	26,2	10,2	0	1,64	58,6
158	29	9,6	0	1,03	58,7
159	32,2	12,7	0	1,00	54,6
160	31,6	12,3	0	1,78	61,3
161	32,8	13,8	0	1,81	57,8
162	33,9	14,8	0	1,92	56,6
163	28,7	18,9	0	3,11	57,6
164	26,3	18	0	2,50	46,6
165	22,9	11,2	0	3,00	51,4
166	22,1	9,2	0	2,36	59,4
167	23,5	8,5	0	1,92	50,8
168	26	11,9	0	2,44	44,5
169	27,1	11,3	0	2,14	45,6

170	27,6	11,7	0	2,11	48,7
171	21,6	13,7	0,04	3,44	56,2
172	21,8	11,4	0	2,31	53,6
173	26,4	13	0	2,00	48,5
174	27,6	11,9	0	2,25	47,7
175	22,8	10,5	0	2,17	52,3
176	25,3	8,8	0,5	2,08	68,5
177	22,4	10,5	0	2,58	58,7
178	26,3	7,9	0	1,50	53,7
179	28,5	11,8	0	3,61	55,9
180	27,8	14,5	0,24	2,17	69,5
181	18,7	13,1	2,2	2,69	82,4
182	24,6	11,3	0	2,06	60,5
183	25,9	13,7	0,52	1,58	75,2
184	27,2	13,3	0	2,19	57
185	27,7	10,6	0	4,75	54,7
186	26,3	16,9	0	2,19	64,9
187	30,8	15,3	0	1,75	58,4
188	31,6	17,8	0	1,94	58,6
189	30,3	16,2	0	4,36	61
190	22,8	14,2	0	4,06	58,5
191	21,4	12,4	0	2,67	53,4
192	18,5	13,2	1,14	3,47	82,4
193	26,9	15,5	0,02	2,78	64,2
194	25	12,9	0	1,33	75,6
195	28,6	12,9	0	1,47	65,5
196	30	15,9	0,32	2,72	62,9
197	30,7	18,2	0	2,94	55,2
198	31,4	19	0	3,33	51,5
199	30,8	17,8	0	2,97	53,2
200	31,7	15,1	0	1,83	58
201	32,9	19,3	0,18	4,36	58,1
202	30,9	19,5	0	2,36	69,9
203	23,9	19	1,84	2,39	82,1
204	27,5	16,8	0	4,19	62,1
205	26,4	15	0	2,64	63,6
206	26,6	14,8	0	1,75	68,3
207	29,2	13,7	0	2,47	68,8
208	29,4	16	1,68	1,72	72,6
209	26,2	17,1	0	2,03	78
210	26,4	17,7	0	3,50	80,1
211	26,8	17,9	3,92	2,86	82,9
212	23,7	17,7	0	2,33	85,6
213	25,5	17,7	0	2,64	79
214	29,1	16,1	0	2,97	71
215	29	18,1	2,28	3,19	75,2
216	25,7	17,4	0	2,03	75,8

217	25,3	16,4	0	3,47	69,7
218	26	17,8	0	3,97	63,1
219	27,5	16,3	0	2,89	59,4
220	28,8	16,1	0	1,94	57,6
221	30,5	17,4	1,54	2,92	69,8
222	28,1	17,7	0	2,47	72,7
223	29,7	17,7	0,26	3,03	74,2
224	19,1	15,7	0,18	1,83	85,2
225	21,9	14,8	0,62	3,50	83,9
226	20,5	15,7	0	2,44	65,7
227	23,6	14,6	0,14	2,44	63,6
228	20,2	13,5	0,02	3,25	66,1
229	23,2	11,3	0	2,47	59,3
230	25,3	9,6	0	3,11	66
231	21,1	14,2	0	2,00	76,5
232	18,1	12,7	0,4	2,03	78,3
233	20,8	11,5	1,22	2,22	78,5
234	21,7	10,2	0	2,78	77,8
235	22,1	11,7	2,62	1,97	83,7
236	18,3	9,5	0,04	3,17	69
237	21	8,3	0	2,53	65,6
238	21,9	12,7	0,08	2,00	81,1
239	20,1	12,2	0	2,64	77,2
240	22,8	8,4	0	1,19	67,4
241	24,4	8,6	0	1,78	69,4
242	18,2	13,5	0,94	0,97	90,3
243	20,4	14,1	0,76	2,14	89,4
244	14,6	12,6	4,21	4,78	90,4
245	15,3	13,2	1,12	4,31	89,5
246	19,1	14,9	0,02	3,92	82,5
247	24,5	14,3	0	2,25	80
248	26,2	15,4	0	1,28	74,7
249	22,3	15,5	0	1,28	80,3
250	21,3	13,8	0	1,47	84,3
251	26	11,8	0	0,97	81,5
252	25,5	12,6	0	1,47	76
253	22,5	14,3	0	2,50	67,4
254	15	13,3	3,22	2,89	87,6
255	17,8	13,2	0,65	2,28	80,4
256	17,9	13,3	4,83	2,92	89,6
257	18,8	13,5	1,31	1,89	87,9
258	20,9	14,2	0	1,50	87,6
259	19,7	11,9	0,01	1,31	87,4
260	21,7	11	0	3,17	78,9
261	20,9	11,5	0	4,86	72,9
262	22,1	11,8	0	2,69	80
263	25,8	13,5	0	1,22	77,4

264	25,2	15,1	0	2,67	68,7
265	17,7	10	0,35	4,06	69,8
266	14,9	6	0	3,94	68,6
267	17,6	1,8	0	3,53	74,3
268	16,4	7,8	0	2,42	75,9
269	15,4	11,7	0,3	2,33	80,1
270	17,8	11,8	0,14	2,36	84,6
271	20	6,7	0	1,83	83
272	20,9	8,4	0	1,69	83,8
273	17,9	9,8	0	1,58	89,3
274	18,4	11,4	0,85	1,06	89,9
275	18,9	12	0,01	2,50	81,4
276	18,7	9,5	0	2,33	77,4
277	16,1	8,7	0	2,06	85,8
278	17,2	8,2	0	3,47	81,2
279	17,8	7,1	0	4,08	74,7
280	16	10,5	0	5,39	79,6
281	19,8	11,3	0	3,47	82,2
282	23,5	10,7	0	2,75	80,6
283	21,3	10,7	0	1,61	84,7
284	16,5	9,1	0	1,08	90,3
285	21,8	10,1	0	1,58	83,8
286	18,9	11,5	0	1,28	89,4
287	21,3	9,8	0	1,83	77,4
288	17,3	8,2	0	1,19	88,1
289	21,7	9,2	0,02	1,61	76,3
290	16,3	12,2	1,14	1,67	84,9
291	19,4	9	0	1,67	79,2
292	20,2	8,8	0	1,86	83,5
293	21	8,5	0,2	1,42	84
294	18	9,9	0	2,47	83,5
295	10,6	7	0,11	4,31	71,3
296	10,1	6,4	0,08	5,53	82,2
297	10,5	4,6	0	4,97	74,9
298	8,7	2,9	0	2,17	86,2
299	8,1	2,5	0	1,31	90,8
300	8,6	1,2	0	2,89	90,4
301	6,8	0,8	0	3,42	92,8
302	9,5	1,1	0	2,94	84,6
303	9,4	2,4	0	0,89	87
304	11,8	2,2	0	1,56	84,4
305	10,4	3,2	0	2,14	91,6
306	9,4	5,2	0	2,83	93,2
307	9,1	4,9	0	3,83	88,6
308	18,3	2	0	4,94	74,8
309	18,7	11,3	0	6,50	65,3
310	15,3	7	0,01	2,86	76,6

311	15,5	7,4	0,28	2,06	86,8
312	10,9	7,1	0,29	1,78	86,4
313	14,8	6,5	0	4,56	85,5
314	16,3	10,2	0	5,03	83,9
315	17,1	7,6	0	4,94	83,3
316	13,5	7,7	0	5,61	86,5
317	12,5	8,1	0	1,78	85,5
318	14,3	7,1	0	3,03	85,1
319	12,1	9,9	0	6,92	82,4
320	10	7,2	0,05	4,56	89,2
321	9,1	7,5	0,02	4,86	92
322	10,4	5,7	0,92	4,08	87,4
323	10,4	2,4	0,01	2,33	83,2
324	8,5	5,3	0	2,86	80,2
325	7,2	2,1	0	1,83	80,5
326	5,8	2,8	0	2,00	87,6
327	7,7	0,9	0	3,31	82,3
328	4,6	2,2	0,11	3,58	87,2
329	4,6	3,1	0,03	1,78	91,4
330	4,8	1,2	0	3,94	85,8
331	3	1	0	5,92	80,4
332	1,5	0,7	0,01	4,19	93,8
333	2,7	1,3	0,07	2,83	94,2
334	3,1	1,4	0,05	3,67	94,2
335	2,4	1,5	1,28	4,92	92,6
336	2,8	1,1	0,15	3,33	93,7
337	4,8	2,5	0,05	3,64	92,3
338	7,3	4	0	3,75	85,1
339	6,6	5,1	0,07	3,42	87,7
340	5,7	5,1	0,35	1,44	94,2
341	5,6	4,4	0,7	2,75	90,7
342	6	0,2	0,13	2,94	81,7
343	4,5	-0,7	0	4,19	80,6
344	2,7	-2,6	0	2,94	81,3
345	8,2	-0,1	0	1,92	76,7
346	8,2	1,1	0	2,83	72,4
347	4,7	-0,5	0	2,53	86,2
348	3,7	-0,3	0	1,86	94,6
349	3,2	2,2	0,01	1,53	95,1
350	3,3	1,1	0,33	1,67	95,8
351	7,2	2,5	0,03	1,64	84,5
352	11,9	3,7	0,07	2,19	82,6
353	14,9	8,9	0,08	4,75	66,8
354	11,6	6,3	0,13	4,83	64,7
355	8	4,6	0	3,92	60,6
356	11	5,4	0	5,08	60,2
357	12	4,9	0	4,03	54,8

358	12,5	-1,3	0	3,33	60,7
359	10,3	4,7	0,09	3,56	67,4
360	5,1	-1,1	0	3,81	67,2
361	-0,6	-5	0	4,00	79
362	-1,5	-6,6	0	5,11	79,9
363	-4	-6,9	0	3,44	74,5
364	-2,8	-10,1	0	3,11	73,5
365	-4,8	-8,9	0	1,94	75,1

Tabelle 32 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2015

Tag	max. Temp. [°C]	min. Temp. [°C]	Niederschlag [cm]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Luftfeuchtigkeit [%]
1	2,6	-5,1	0,01	1,50	83,6
2	8,1	-2	0,15	2,72	83,1
3	6,2	0	0,14	2,81	71,3
4	4,7	0	1,04	4,06	77,4
5	3	0,9	0,44	4,14	79,8
6	2,4	-4,8	0	2,42	77,5
7	-2,1	-5,2	0	3,75	79,5
8	-0,6	-4,8	0	3,58	85,5
9	11,1	-0,7	0,03	5,14	69,8
10	17,1	7,9	0,38	3,64	68,1
11	11,9	3	0,15	4,47	66,8
12	7,5	0,2	0	4,17	64,7
13	6,4	-1,6	0	1,86	78,4
14	6,5	-2,3	0,04	2,14	84,6
15	5,9	1,1	0	3,31	77,1
16	5,7	-0,4	0	2,11	87,4
17	10,4	-0,1	0,08	2,06	82,1
18	6	1,7	0	1,97	83,2
19	4	1,5	0	1,03	85,5
20	4,5	0,1	0	2,61	87,4
21	4,8	0	0	2,19	84,1
22	6,8	4,7	0	4,00	87
23	5	2,7	0,01	3,78	85,4
24	2,8	0,5	0,02	6,14	78,2
25	2,6	-0,5	0,01	5,22	84
26	3	-3,3	0	2,42	75,4
27	3,8	-3,4	0,26	1,81	81,9
28	5,6	-0,4	0	2,56	74,2
29	2,3	-0,6	0,03	3,56	84,9
30	2,7	0,2	0,91	4,47	83,8
31	5,1	-3,3	0	1,92	75,2
32	1,7	-3,9	0	1,08	90,4
33	4,1	-2,1	0	1,67	76
34	4,9	-2,2	0	2,61	75,1

35	1,5	-3	0	2,39	81,8
36	0,6	-4,7	0	1,97	77,3
37	0,9	-3,9	0	4,53	72,9
38	1,4	-4,2	0	3,47	66,1
39	1,4	-2,9	0	6,14	65,9
40	2,6	-2,1	0,07	4,14	76,1
41	4,5	2,4	0,01	4,11	74,2
42	3,8	1,1	0	2,31	81,5
43	6,8	0,5	0	4,11	81,3
44	5,6	-1,3	0	4,67	76,5
45	6,3	-0,9	0	5,03	76,6
46	7,6	-0,8	0	4,92	78,3
47	8,9	-2,2	0	2,39	72,8
48	3,5	-1,1	0	5,75	77,1
49	2	-1,6	0	1,31	80,4
50	4	-3,3	0	1,25	79,2
51	6,6	-5,1	0	2,39	80,6
52	11,3	0,6	0	3,28	61,5
53	6,4	-1,6	0,29	2,19	79,2
54	7,2	0,8	0	2,50	87,8
55	6,5	1,5	0,57	2,17	90,1
56	7,8	3,6	0,14	5,36	75,6
57	6,5	2,1	0	3,47	76,1
58	9,1	0	0	2,97	82,4
59	8,7	-0,6	0	1,86	74,9
60	9,2	-2,8	0,08	1,25	82,1
61	12,5	4,9	0,16	2,97	75,3
62	9,1	-0,2	0	3,11	57,9
63	8,9	-1,3	0,01	2,53	65,6
64	6,9	0	0	3,83	65,6
65	8	0	0	3,50	61,3
66	10	-1,8	0	1,61	66,9
67	10,9	-4,2	0	2,50	60,9
68	11,2	-0,5	0	4,33	58,3
69	13	-1,5	0	1,61	61,4
70	6,4	3,1	0,56	4,78	75,4
71	6,8	2,7	0	5,72	65,6
72	5,3	3,2	0,03	4,25	75,8
73	5,4	2,6	0,02	2,56	80,9
74	8,7	2,5	0,01	3,67	83,8
75	12,8	1,7	0	4,14	73,5
76	13,5	1,1	0	3,06	68
77	12,6	-0,6	0	2,44	53,4
78	11,3	-0,4	0	1,58	56,2
79	11,5	-1,5	0	1,56	61,8
80	14,8	-3,5	0	1,33	60,4
81	9	0,1	0	4,39	61,9

82	10,5	-1,6	0	2,28	61,3
83	15,5	2,9	0	5,00	60
84	15,9	2,4	0	4,25	67,2
85	16,6	8,1	0,05	3,17	75,8
86	10,8	6,5	0,06	4,19	67,2
87	10,1	3,5	0	5,03	56,8
88	15,3	0,1	0,13	3,19	71,7
89	13,1	4,7	0,5	5,11	67,8
90	15,8	3,3	0,46	4,47	66,7
91	8,1	2,5	0,38	5,36	68,2
92	8,4	1,6	0,12	5,47	69,8
93	9,5	2,3	0	3,17	53
94	10,5	-0,8	0	1,75	55,5
95	8,6	-0,6	0	3,39	60,4
96	8,4	-0,7	0	4,31	60,5
97	10,8	0,4	0	5,39	51,9
98	10,5	6,9	0	4,92	60,8
99	14,5	4,6	0	2,61	61,3
100	18,8	1,4	0	2,69	62,1
101	21,2	3,5	0,06	1,78	58,1
102	18,9	7,4	0	2,06	58,9
103	20,4	5,2	0,01	2,72	59
104	17,3	5	0	2,31	42,6
105	24	5,8	0	2,42	46,9
106	25,7	7	0	3,00	42,8
107	16,8	7,9	0,91	2,39	72,5
108	10,80	2,6	0	4,08	61
109	13,9	0,1	0	1,33	58,4
110	17,6	4	0	4,28	49,8
111	20,3	6,4	0	4,25	40,7
112	18,8	6,2	0	2,19	48,8
113	20,6	4,3	0	1,89	58,3
114	20,7	3,6	0	1,36	60,3
115	22,9	5	0	2,22	59,9
116	23,1	9,3	0	1,78	63,4
117	24,9	9,4	0	4,42	58,6
118	18,3	6,7	0,09	3,33	73,1
119	15,2	3,1	0	3,06	55,9
120	17,3	1,3	0,53	1,69	67
121	16,1	6,9	0,04	1,28	78,6
122	14,9	8	0,17	2,11	78,5
123	13,1	6,4	0,03	2,56	86,1
124	23,7	11,1	0,06	1,94	80,3
125	25	14	0	2,89	74,5
126	20,8	11,6	0,08	3,28	73,4
127	21,1	8,6	0	2,00	61,1
128	22,9	8,8	0	2,03	63,7

129	21,9	8,6	0	2,33	66,9
130	20,2	10,7	0	3,42	51,6
131	19,8	4,4	0	1,92	54,3
132	24	2,8	0	2,25	61,3
133	23	11,6	0,09	1,50	71,1
134	20,8	11,7	0,2	2,00	68,3
135	15,1	10,2	0	1,56	76
136	22,8	8,9	0	1,86	56,9
137	19,9	10,5	0	1,97	59,6
138	23,3	5,3	0	2,78	60,7
139	24,1	11,7	0,04	1,92	68,6
140	22,2	10,3	0,28	2,03	77,1
141	13,8	9,7	0	2,50	77,7
142	14,9	11,2	0,26	3,14	73,9
143	12,2	10,5	1,58	2,03	90,9
144	14,7	10,8	0	1,75	87,2
145	19,2	10,3	0	2,28	75,4
146	16	10,4	0,98	2,72	83,3
147	14,5	8,4	0	3,33	65,1
148	17,3	6,1	0	1,56	66
149	23	4,7	0	1,92	67,7
150	24,9	11	0,07	1,19	72,4
151	22,2	12,1	0	2,00	65,1
152	26,3	11,7	0	1,33	71,7
153	28,1	12,6	0	1,28	64,9
154	30,8	14,1	0	1,03	60,4
155	26,7	14,7	0	2,69	57,6
156	26,3	11,1	0	1,47	61,7
157	29,1	12,6	0	2,00	66,4
158	29,6	13,3	0	1,22	62,8
159	30,1	15,3	0	1,58	59,8
160	25,9	14,1	0	2,89	60,2
161	25,7	12,4	0	2,33	62,8
162	28,2	13,6	0	1,42	64
163	31,1	15,6	0	3,25	60,4
164	31	14,6	0,03	1,56	64,9
165	30,5	13,7	0,21	1,25	72,1
166	23,6	14,8	0	2,44	76,4
167	23,1	12,5	0	2,53	53,2
168	19,3	10,2	0	2,42	52,7
169	23,7	8,7	0,01	1,89	56,2
170	20,1	13	0,02	1,92	71,6
171	19,5	10,1	0,13	1,92	70,6
172	20	9,9	0	2,19	63,1
173	26,2	7,1	0,55	1,81	66,6
174	19,6	13,1	0,07	2,36	74,3
175	21	11,1	0,01	1,64	65,5

176	23,9	7,9	0	1,81	57,7
177	27,2	12,9	0	1,86	48,5
178	27,4	16,3	0,05	1,36	64,4
179	25,7	12,7	0,36	2,42	62,8
180	25,3	11,9	0	1,47	60,4
181	30	10,2	0	1,03	59,4
182	31,2	13	0	1,14	54,4
183	32,3	14,7	0	1,25	48,9
184	31,3	15,1	0	2,06	51,5
185	32,5	14,5	0	1,92	50,1
186	35,2	13,6	0	1,42	48,7
187	34,9	15,4	0,59	1,89	54,9
188	36,5	19,4	1,24	1,61	54,9
189	31,4	16,4	0	2,11	65,3
190	24,9	10,7	0,01	2,39	65,7
191	25,2	10,2	0,01	1,75	54
192	27,9	9	0	1,11	51,8
193	32,3	11,4	0,01	1,75	50
194	24,6	16,4	0,01	2,86	61,1
195	24,5	18,2	0	2,64	70,8
196	29,4	18,4	0	1,86	53,8
197	32,4	14,7	0	1,64	55,6
198	36,6	19,1	0	1,64	50,3
199	34	19,6	0	2,39	52,7
200	36	19,6	0	2,97	53,9
201	30,9	19,6	0	1,83	58,6
202	37,2	17,5	0	1,64	54
203	36,8	18,4	0	2,11	48,1
204	30,7	21,8	0,01	2,83	52,2
205	33,7	19,7	0	2,47	51,9
206	30,9	18	0,03	3,42	56,1
207	26,2	13,4	0,11	2,36	53,2
208	25,5	14,3	0,56	2,03	74,8
209	25,1	12,6	0	2,47	66,8
210	21,3	14,4	0,69	2,44	79,5
211	25,2	14,1	0,02	2,08	55,6
212	26,1	12,6	0	1,86	47,7
213	27,2	11,1	0	4,08	51,1
214	23,4	17,3	0,34	2,03	67,8
215	29,2	17,1	0,03	1,69	69,5
216	32,1	16,4	0	2,72	62,4
217	33,8	20	0	2,44	49,3
218	34,9	17,6	0	1,64	54,8
219	35,8	18,1	0	2,00	52,2
220	36	20	0	3,39	46,7
221	35,9	18	0	2,64	46,6
222	34,9	16,3	0	1,86	45,5

223	35,9	16,5	0	1,50	41,5
224	37,1	17,8	0	1,75	38,3
225	36,3	21,1	0	2,11	44,1
226	35,9	18,9	0	3,36	45,1
227	32,4	21,6	1	2,19	47,6
228	29,7	19,1	0,23	2,03	67,6
229	21,2	16,9	1,32	2,36	80,3
230	19,8	15,2	0,57	3,06	78,2
231	18,2	13,8	0,65	2,33	84,2
232	20	13,2	1,32	2,19	81,2
233	23,8	12,7	0	1,64	70
234	25,1	12,6	0	1,92	65,4
235	23,8	11,8	0	4,89	70,9
236	28,5	15,9	0	6,78	59,5
237	21,6	11,6	0	2,14	63,1
238	26,3	8,9	0	1,61	58,1
239	29,2	13,9	0	3,67	65,4
240	31,6	14,9	0	1,56	69,3
241	33,4	17,1	0	1,86	59,8
242	34,3	17,7	0	4,36	55,7
243	34,6	17,1	0	3,33	51,9
244	33	15,1	0	2,53	54,7
245	23,9	15,9	0,21	3,22	65,6
246	23,1	12,4	0,47	1,86	70
247	23,1	15,2	0,04	1,83	66,6
248	18,5	13,4	0,05	2,06	76
249	17,9	12,2	0,03	3,28	57,9
250	16,4	11,2	0,01	3,17	60,8
251	18,8	8,9	0	2,33	59,7
252	17,2	6,4	0,07	2,19	76,1
253	20,4	10	0,02	2,36	68,3
254	19,2	11,8	0	2,67	81,3
255	24,3	12,3	0	3,39	72,1
256	24,7	12,4	0	6,53	61,5
257	23,4	12,4	0,39	4,58	69,6
258	22,1	12,1	0	2,47	79,6
259	27,9	11,2	0	3,28	67,6
260	33,9	13,5	0	3,83	54,4
261	25	14,3	0	2,64	54,6
262	22,8	13,4	0,46	2,92	63,6
263	20,9	12,2	0,02	3,75	62,3
264	19,1	6,2	0	1,69	66,2
265	22	5,1	0	4,69	60,8
266	19,1	9,8	0	2,56	71,4
267	16,9	11,7	0	3,17	67,2
268	15,5	12,6	1,91	3,58	77,3
269	15,9	11,3	0,13	3,17	74,1

270	16,3	10,9	0	3,39	63
271	17,1	9,1	0	4,06	56,1
272	17,4	7,1	0	2,72	61,1
273	13,6	7,6	0	1,36	66,2
274	16,5	4,9	0	1,78	68,3
275	18,7	2,7	0	4,17	66,6
276	20,7	9,8	0	5,83	67,9
277	18,6	10,1	0	1,75	81,4
278	20,4	9,2	0	1,86	75,1
279	17,4	7,6	0	3,47	86
280	15,3	12,8	0,4	1,72	90,5
281	14,6	12,7	0,15	1,31	90,4
282	14,2	7,5	0,02	1,69	85,6
283	10,2	6,9	0,41	2,17	81,8
284	8,5	3,6	0,22	4,22	65,7
285	6,9	-1,2	0	2,83	71,9
286	7,8	-1,3	0	3,31	86
287	9,5	7,3	1,43	2,75	91,7
288	12,3	9,5	1,45	4,03	93,2
289	9,7	7	0,6	1,72	89,2
290	11,6	5,5	0	1,33	75
291	9,2	4,2	0	1,11	90
292	9,2	6,9	2,29	2,69	87,7
293	10,6	7	0,58	3,86	76,9
294	11,9	8	0	2,03	78,7
295	12,2	6,5	0	1,94	78,1
296	14,4	5,7	0	1,97	77,5
297	14,1	1,1	0	2,03	85,6
298	12,4	2,8	0,01	1,06	89,6
299	14,4	3,9	0	2,11	86,5
300	14	7,5	0	5,03	75
301	9,4	8,1	0	6,36	85,2
302	10,5	6	0	2,61	88,4
303	13,9	3,5	0	1,47	86,1
304	13,2	0,1	0,01	2,67	84,4
305	12,3	2,2	0	4,25	62,9
306	12,1	0,3	0	3,17	69,6
307	12,4	-0,3	0	3,25	74,3
308	6,7	-1,6	0	1,61	89,8
309	11,7	-2,3	0,01	1,36	90,6
310	12,2	-2,6	0	0,72	91,3
311	15,9	3,6	0,01	1,14	87,6
312	20,5	5,6	0	1,44	83
313	16,8	5,7	0,02	1,72	82,6
314	19,5	14,3	0	4,14	53,5
315	18,5	7,8	0	1,50	68,2
316	15,8	3	0	1,61	78,6

317	13,6	0,5	0	1,22	84,6
318	13,2	6,2	0	3,78	56,5
319	14,7	8,1	0,73	2,94	76,9
320	16,2	5,2	0	1,67	69,5
321	16,5	5	0	3,22	64
322	18,8	6,6	0,04	3,44	59,4
323	17,6	9,3	0	6,25	51,7
324	17,7	7,6	0,62	2,75	78,8
325	7,4	3,2	0,13	2,33	80,9
326	5,2	1,6	0	2,14	75,4
327	6,5	-1,5	0	2,50	67,7
328	4,7	-4,1	0	1,58	78,9
329	2,8	-5,5	0	2,67	81,9
330	3,2	-0,2	0	2,97	86,5
331	4,2	1,7	0	3,03	75,1
332	5,6	-0,1	0	2,56	71,9
333	10,9	1,6	0	5,00	62,5
334	12,6	6,8	0,75	6,47	63,2
335	12,6	5,8	0,87	5,94	76,2
336	12,4	5,3	0,04	2,08	81,6
337	10,8	0,8	0	1,17	80
338	10,5	1,4	0	1,97	86,8
339	10,3	2,6	0	1,89	89,1
340	3,4	2,2	0	3,50	93,6
341	2,7	1,1	0	2,08	94,9
342	3,9	1,3	0,02	4,75	94,3
343	5,8	2,2	0,22	1,94	87,8
344	7,9	-2,3	0	2,08	79,3
345	1	-4,4	0	0,97	94,6
346	10,1	-0,9	0,01	3,61	74,5
347	9,6	-1,1	0	2,25	78,4
348	6,2	2,8	0	1,53	80,5
349	3,9	1,4	0	2,42	91
350	3,5	2	0	2,22	94
351	3	2,2	0,42	3,72	94,1
352	2,6	1,9	0,02	2,33	94
353	4,9	1	0	2,17	94,7
354	4,4	3,4	0,02	4,61	94,7
355	4,2	1	0,01	2,25	92,7
356	12,7	0,4	0	1,83	81
357	9,2	-0,2	0	1,25	92,6
358	5,9	1,8	0	2,14	91,7
359	3,7	1,6	0	1,89	95
360	6,7	0,2	0,01	2,19	95,2
361	1,8	-1	0,01	1,14	96
362	2	-2	0,02	0,58	95,9
363	2,1	-0,7	0	2,00	95,1

364	2,7	-3,3	0	3,17	75,6
365	-0,2	-6,4	0	4,67	76,3

Tabelle 33 Wetterdaten von Groß-Enzersdorf des Jahres 2016

Tag	max. Temp. [°C]	min. Temp. [°C]	Nieder- schlag [cm]	Wind- geschwindigkeit [m/s]	Luft- feuchtigkeit [%]
1	-0,4	-6,2	0,01	1,14	88
2	-0,9	-4,8	0	5,81	87,9
3	-4,8	-6,2	0,01	6,06	71,5
4	-5,4	-8	0	6,67	80,9
5	-4,8	-8,5	0	3,33	89
6	-2,2	-4,8	0	2,69	93,5
7	0,8	-4,1	0,03	2,33	87,9
8	8,2	-4,9	0,37	2,25	85,1
9	1,1	-0,8	0,18	1,31	95,4
10	2	0	0,39	1,69	95,9
11	7,3	0,1	0,21	2,25	94,3
12	9,3	4	0	5,17	65,2
13	7,4	4,4	0	6,00	65,9
14	6,7	-0,5	0	2,83	68,4
15	5,4	-0,2	0	2,83	71,4
16	1,7	-0,6	0,01	3,19	73,3
17	-0,1	-4,5	0	3,39	68,7
18	-0,6	-8,7	0	2,33	68,1
19	-1,3	-8,4	0	1,36	78,4
20	1,1	-9,2	0	2,17	68,4
21	0,3	-7	0	3,11	68,2
22	-1	-11,7	0	1,36	75,2
23	-2,9	-8,8	0	2,19	86,7
24	6,1	-3,8	0,69	1,75	80,5
25	6,8	-1,5	1,09	1,28	93,5
26	10,5	-0,5	0	1,61	87,8
27	4,4	-0,9	0	1,92	94
28	14,9	1,1	0,01	1,97	75,8
29	10,6	3,1	0,66	1,56	85,2
30	2,6	-0,9	0	2,11	95,2
31	9,4	1,2	0,09	4,94	76,7
32	13,6	3,9	0,98	2,86	83,3
33	11,8	2,7	0	2,53	72,6
34	11,6	2,9	1,01	2,94	76,1
35	6,2	2,5	0	3,86	67,4
36	6,3	1,1	0,05	2,58	75,5
37	8,7	0	0	3,61	77,9
38	14,6	2,5	0	5,06	70,5
39	11,4	4,6	0	2,61	76,6
40	12,4	4,8	0,04	6,11	70,4

41	10,7	3,7	0,41	4,53	73,1
42	7	0,6	0	5,81	68,8
43	6,2	-0,7	0	2,89	79,6
44	7,1	0,8	0	2,28	81
45	8,9	1,9	0,84	4,08	87
46	7,8	5,3	0	2,64	75,4
47	7,1	3,2	0	3,25	73
48	5,1	2,7	0,01	4,06	83,7
49	5,5	3,5	0,57	2,36	91,6
50	5,9	2,3	0,99	3,06	81,7
51	9,4	3,4	0,21	3,56	64,5
52	13,9	5,2	0,25	4,50	73,8
53	18,6	7,7	0	6,11	56,9
54	14,8	3,7	0,11	4,61	60,7
55	7,8	0,3	0	3,03	66,5
56	5,2	-0,1	0	3,39	74,6
57	6,2	-0,9	0	1,81	67,7
58	7,5	-0,9	0	5,83	67,2
59	10,1	4,3	0	5,56	78,5
60	8,8	6,2	0	2,75	87,7
61	6,3	2,3	0	4,14	76,5
62	8,8	0,5	0	3,22	73,1
63	6	2,1	0,42	3,36	81
64	7,9	0,7	0,01	4,08	76,4
65	13,2	1	0	5,22	64,7
66	10,6	5,1	0	3,75	58,9
67	5,1	1,9	0,24	2,58	79,4
68	6	1	0,4	2,31	81,9
69	6,7	-1	0	1,69	81,5
70	10	-1,9	0,01	3,56	82,6
71	7,8	5,3	0	4,72	74,7
72	8	3,9	0	4,50	73,1
73	8,4	3,1	0	4,42	75,1
74	9,9	0,1	0	3,58	60,5
75	5	0,4	0,55	3,58	77
76	7,1	0,5	0,1	2,53	80,7
77	11,5	-3	0	1,94	74,3
78	14,5	-2	0	2,33	62,9
79	8,7	3,6	0	2,31	70,2
80	12,5	3,6	0	1,81	67,9
81	21	4,4	0	2,36	55,1
82	10,9	3,9	0	2,56	62,3
83	11,1	1,5	0	2,78	64,1
84	10,2	4,1	0,01	4,22	61,2
85	12,1	1,7	0,05	1,89	62,6
86	9,4	4,4	0,15	2,53	77,2
87	14,6	-0,5	0	3,17	67,8

88	15,9	0,6	0	3,28	67,7
89	17,5	4,3	0	3,53	62
90	15,8	6,4	0	2,33	70
91	22,6	6,3	0	2,97	61,7
92	13,3	4,4	0	3,75	67,4
93	15	0,8	0	4,42	53,9
94	21,3	6,5	0	5,22	45,3
95	23,1	6,5	0	1,64	57,2
96	24,2	6,5	0	1,19	60,9
97	19,2	9	0,03	3,08	58,5
98	18,3	9,6	0,01	1,83	65,1
99	12,5	8,1	1,83	4,19	81,2
100	9	7,4	0,18	4,64	81
101	10,8	6,6	0	4,28	74,2
102	11,9	5	0	2,67	79,4
103	15,4	5,8	0	1,25	81,7
104	20,5	3,3	0,96	2,31	75,1
105	14,5	8,2	0,03	3,58	69
106	17,9	4,2	0	2,17	70,4
107	23,2	6,8	0	1,92	66,2
108	22	6,7	0,01	2,22	69,3
109	12,6	8,9	0,29	2,86	79
110	15,9	6,6	0	4,22	56,7
111	15	5,7	0	3,75	51,2
112	18,2	1,6	1,76	1,58	60,4
113	20,2	5,7	0	2,61	54,9
114	17	6,8	0,19	1,69	58,3
115	10,3	4	0,17	5,81	57,3
116	10	2,6	0	4,08	59,7
117	16,3	-1,2	1,11	3,53	52,7
118	6,6	0,8	0,21	2,67	75,9
119	10,3	-1,1	0	2,78	69,1
120	15,4	-2	0	1,17	62,6
121	19,2	0,1	0	2,33	58,2
122	18,3	5,3	0	3,39	62,5
123	18,9	10,5	0,05	2,92	67,4
124	16,8	9,8	0,28	4,22	69,1
125	10,7	8,6	0,8	4,36	81,2
126	17,7	8,4	0	3,28	76,3
127	22,8	8,8	0	1,67	62
128	23,5	6,2	0	1,72	57,4
129	21,4	7,8	0	2,06	57,6
130	22,6	6,8	0	3,39	59,6
131	19,5	9,4	0	4,42	72
132	20,2	11,3	0	3,39	72,7
133	15	12,6	3,19	3,50	91,4
134	16,7	11,7	1,93	2,97	80,4

135	20,1	11,9	0,12	3,42	67
136	13,9	6,8	0	3,72	51,3
137	12,9	5,2	0,41	2,67	67,3
138	15,1	7	0,01	2,50	59,9
139	18,8	9	0	1,72	59,6
140	20,8	7,1	0	3,00	66,6
141	20,2	10,9	0,19	2,33	69,9
142	24,4	12,1	0	1,67	58
143	25,6	10,6	0	4,72	55,9
144	26,6	10,8	0,13	4,47	55,7
145	16,6	9,3	2,29	3,44	81,1
146	20,5	13	0	2,86	73,4
147	23,1	12,7	0	2,33	71,1
148	25,9	10,8	0	2,03	72,5
149	27,7	14,4	0	2,53	68
150	27,1	16	0	3,25	65,2
151	23,5	14,7	0	1,72	70,1
152	22,6	13,3	0,15	2,03	71,7
153	24	13,3	0	1,92	71
154	22,9	14,3	0,13	1,42	76,8
155	23,8	14,8	0,05	1,39	74,3
156	25,8	14,6	0,24	1,58	75,9
157	24,3	14,3	0,44	2,31	76,5
158	23,9	13,7	0,01	2,19	68,9
159	22,1	11	0	1,78	57,7
160	24,5	8,7	0	0,92	61,8
161	23,9	11,3	0,32	1,89	69,1
162	24	14,2	0,08	1,56	67,3
163	23,2	12,5	0,32	1,67	71,1
164	22,1	14,1	0,42	1,28	77,5
165	22,8	15,1	0	1,61	69,2
166	23,6	14,3	0	1,72	68,8
167	20,9	12,3	0,28	1,56	79,9
168	25	12,4	0	3,72	72,6
169	21,6	12,2	0,2	3,00	69,8
170	24,8	11,2	0	1,47	71,1
171	24,2	11,5	0,9	2,22	74,1
172	18,8	12,6	1,42	2,11	88,9
173	26,7	11	0	1,17	70,2
174	29,1	14	0	0,92	66,9
175	30,8	16,3	0	1,03	64,2
176	31,9	17,9	0	2,53	67,7
177	31,7	18	1,48	3,00	65,3
178	24,2	17,8	0,56	2,19	76,7
179	19,9	14	0,45	2,67	80,2
180	25,3	13,1	0	2,28	64,5
181	29,4	12,2	0	1,28	65,5

182	29,7	16	0,01	2,19	70,9
183	30,1	16,9	0	1,44	67,6
184	30,6	15,5	2,5	2,47	70,6
185	22,4	15	0,21	2,50	71,8
186	24,7	11,4	0	1,17	63,6
187	29,4	13,3	0	1,64	66,4
188	25,3	14,5	0	3,06	48,9
189	25	11,7	0	1,75	55,4
190	27,9	10,6	0	1,53	65,7
191	27,2	15,5	0	2,25	56,6
192	29,4	13,9	0	1,50	60,4
193	32,8	17,6	0,01	2,25	62,3
194	29,9	18,3	2,55	1,75	79,7
195	24,5	15,7	0,32	2,11	82,5
196	18,9	12,6	1,55	3,72	74,6
197	21,1	12,2	0	3,19	62,6
198	18,6	13,6	0,26	3,36	73,4
199	23,9	13,2	0,26	2,94	73,6
200	28,8	17,6	0	2,25	60,3
201	28,4	14,5	0	1,75	58,7
202	28,2	15,2	0	1,47	63
203	29,4	13,5	0,02	1,11	60,2
204	29,3	18	0,07	1,31	71,7
205	29,5	19,5	0,15	1,25	72,2
206	29	19,2	0,75	1,75	70
207	29,9	19,4	0	1,81	65,1
208	30,1	19,6	0	2,50	64,3
209	28,5	19,1	0	1,86	70,6
210	26,6	17,9	0,12	2,03	71,1
211	29,1	16,2	0	2,14	60,7
212	32,4	15,5	0	1,72	60,9
213	31,2	17,5	1,38	2,56	72,8
214	24	16,2	0	2,72	65,4
215	26,1	12,8	0	1,97	56,5
216	29,1	17,3	0	1,64	65,2
217	30	16,2	0	2,36	66,8
218	23,8	15,9	1,5	3,06	75,8
219	23,2	15,6	0	3,17	70,9
220	25,4	14,5	0	2,33	61
221	27	12,6	0	1,22	63,4
222	27,6	13,3	0,46	1,97	74,4
223	15,9	11,9	1	2,97	86,5
224	19,1	10,4	0	2,78	66,1
225	18,8	7	0	1,86	74,7
226	25,2	14	0	0,92	78,3
227	28,6	12,2	0	1,22	69,8
228	26,3	14,9	0	1,75	66,7

229	26	13,6	0,25	1,17	67,7
230	23,8	11,5	0,02	2,11	63,3
231	26,4	10,5	0	1,53	70,6
232	27	13,4	0	1,47	74,6
233	27,7	14,3	0	2,39	73,8
234	21,4	16	1,02	2,39	79
235	21,6	14,9	0	3,39	69,9
236	26,3	13,5	0	3,00	62,7
237	26,6	14,9	0	2,58	62,2
238	27,3	12,1	0	1,25	66,3
239	27,4	13,1	0	2,58	61,6
240	29,2	14,3	0	3,06	61,8
241	29,9	16,7	0	2,89	62,5
242	27,3	15,9	0,01	2,14	68,2
243	25,7	14,7	0	2,67	58,7
244	25,3	10,3	0	1,56	57,2
245	27,8	11,2	0	1,22	61,1
246	28,6	13	0,25	1,31	70,8
247	29,1	11,9	0	1,11	64,5
248	31,1	14	0	2,28	56,9
249	21,6	15,3	1,24	2,92	74,4
250	18,8	13,4	1,3	3,72	83,5
251	26,3	13,5	0	1,36	77,9
252	27,6	12,7	0	1,11	73,9
253	29,9	13,9	0	0,97	67,8
254	29,7	13,5	0	0,97	67,3
255	30,4	14,2	0	1,11	66,3
256	30,8	14,5	0	0,86	65,3
257	30,2	13,9	0	0,69	65,4
258	28,5	14,2	0	1,19	63,7
259	28	12,2	0	1,28	65,7
260	27,6	14,6	0	-00	71,8
261	20,4	15,4	0,03	-00	71,2
262	22,5	14,3	0	-00	72,7
263	20,8	11,1	0	3,25	70,3
264	18,1	10,4	0	3,89	53,4
265	18,5	10,5	0	2,39	62
266	19	5,2	0	1,69	62
267	21,9	3,4	0	1,00	63,4
268	22,4	6,5	0	1,00	65
269	23,1	5,9	0	1,11	64,2
270	21,8	8	0	1,08	68,5
271	22,7	6,8	0	0,86	68,1
272	23,8	5,6	0	1,97	65,6
273	27,1	10,4	0	2,14	55,5
274	26,7	7,8	0	1,22	65,9
275	23,8	8,8	0	1,83	72,5

276	17,9	9,8	0,24	1,97	81,9
277	15,5	11,6	0,15	3,31	77,3
278	12,8	6,6	1,52	4,56	77,8
279	10,5	5,1	0,14	4,69	69,8
280	9,7	6,5	0,68	3,11	85,4
281	9,3	1,1	0,01	1,89	82
282	12,5	0,5	0	1,44	81,3
283	12,9	6	0	1,78	78,2
284	11,8	6,9	0	2,25	79,5
285	9,3	5,9	0,03	2,75	81,6
286	9,2	6,5	0,01	3,58	82,4
287	11,1	7,6	0	2,50	79,6
288	13,5	7,4	0	5,50	74,3
289	15,9	7,8	0	3,22	78,4
290	18,3	7,4	0	2,11	78,1
291	11,7	3,9	0	2,53	89,5
292	10,7	7,5	0,3	3,08	88,2
293	11,3	8	0,58	2,39	89,2
294	8,8	4,2	1,11	1,25	93,2
295	9,7	2,7	0,01	0,89	91,4
296	12,5	0,3	0	1,83	83,4
297	12,6	1,6	0	3,58	87
298	15	6,2	0	2,25	88,8
299	16,7	7,9	0,11	1,78	86,7
300	13,3	7,2	0	2,14	79,1
301	11,5	5,8	0	1,44	78,4
302	13,5	1,8	0,05	1,53	81,5
303	13,1	8,7	0,04	3,11	75,2
304	11,4	5,4	0	3,33	67,9
305	11,5	2	0	2,06	74,8
306	14,4	4,1	0	1,22	77,1
307	11,3	3,6	0,28	2,50	80,7
308	8,9	-1,9	0,09	2,61	71,1
309	8,9	-3	0	2,81	79,9
310	10,5	2,5	0	3,94	83,3
311	7,8	3,9	0,97	3,03	89,8
312	7,7	-0,1	0	2,14	77,7
313	4,3	-1,7	0	1,33	86,9
314	6,2	-1,8	0	1,78	81,6
315	9,8	-1,1	0,19	2,44	84,6
316	4,8	-0,3	0,12	1,94	90,2
317	3,5	1	0,48	4,72	79,4
318	3,4	-0,8	0	3,81	67,1
319	5	-4	0	1,47	79,4
320	3,2	-5,9	0,02	1,11	85,5
321	2,6	0	0,88	2,53	92,8
322	5,3	2,3	0,09	3,25	90,8

323	7,1	2,8	0	2,64	91,7
324	14,6	3,2	0,15	3,28	83,4
325	12,6	6	0	4,56	80,1
326	14,9	9,9	0	7,67	79,2
327	15,2	7,4	0	6,83	78,3
328	10,5	5,4	0	3,72	82,9
329	7,4	5,7	0	1,86	89,7
330	7,2	6,1	0,1	0,92	94,1
331	10,2	5,4	0,01	2,53	85,9
332	9,5	2,6	0,01	3,97	75,3
333	3,1	-1,9	0	4,53	68,2
334	2,3	-2,9	0	3,28	71,1
335	4,3	-5,9	0	2,06	65,2
336	6,3	1,4	0,1	4,89	67,1
337	6,5	-0,3	0,12	5,42	67,7
338	3,6	-5,2	0	1,83	76,2
339	1,2	-7,1	0	1,17	90,4
340	1,9	-4,5	0	2,89	86
341	0,8	-2,1	0	3,19	82,2
342	3,2	-4,1	0	1,89	85
343	-1	-2,3	0	2,56	93,1
344	10,8	-3,8	0	2,36	72,2
345	13	-0,8	0	1,14	73,9
346	10	-1,5	0	3,28	65
347	7,4	-2,1	0,09	4,06	73,5
348	1,4	-5,8	0	1,83	74,1
349	0,1	-3,4	0,05	1,25	86
350	3,4	-2	0,01	1,97	78,2
351	2,1	-4,1	0	2,47	88,3
352	-0,3	-5,6	0	1,92	89,3
353	1,1	-0,6	0	1,78	88,2
354	-0,4	-1,8	0	4,31	93,7
355	-1,9	-4,1	0	6,25	94,2
356	-3,1	-3,9	0	5,39	94
357	-3,4	-3,9	0	2,92	93
358	-0,1	-3,6	0,02	1,44	93
359	3,8	-1,3	0,16	2,31	92,4
360	9,2	4,6	0	4,03	70,9
361	11,8	6,2	0,04	3,19	74
362	6,1	3,2	0,05	4,64	63,7
363	5,6	-0,5	0,54	3,94	75,7
364	2,6	-3,8	0	3,17	76,3
365	0,8	-6,3	0	2,11	84,4
366	3,8	-7,2	0	0,89	85,6

## Anhang G- Ergebnisse der Gesamtemissionen der Sojasysteme für das Jahr 2016

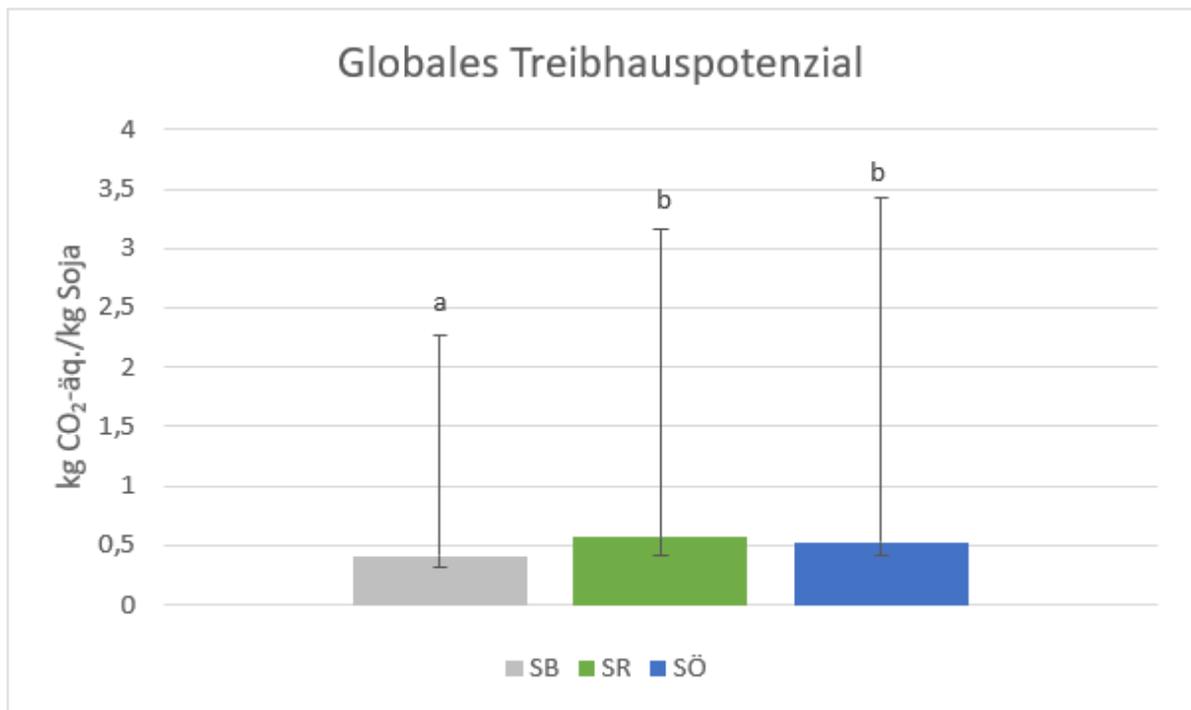


Abbildung 28 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zum globalen Treibhauspotenzial. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

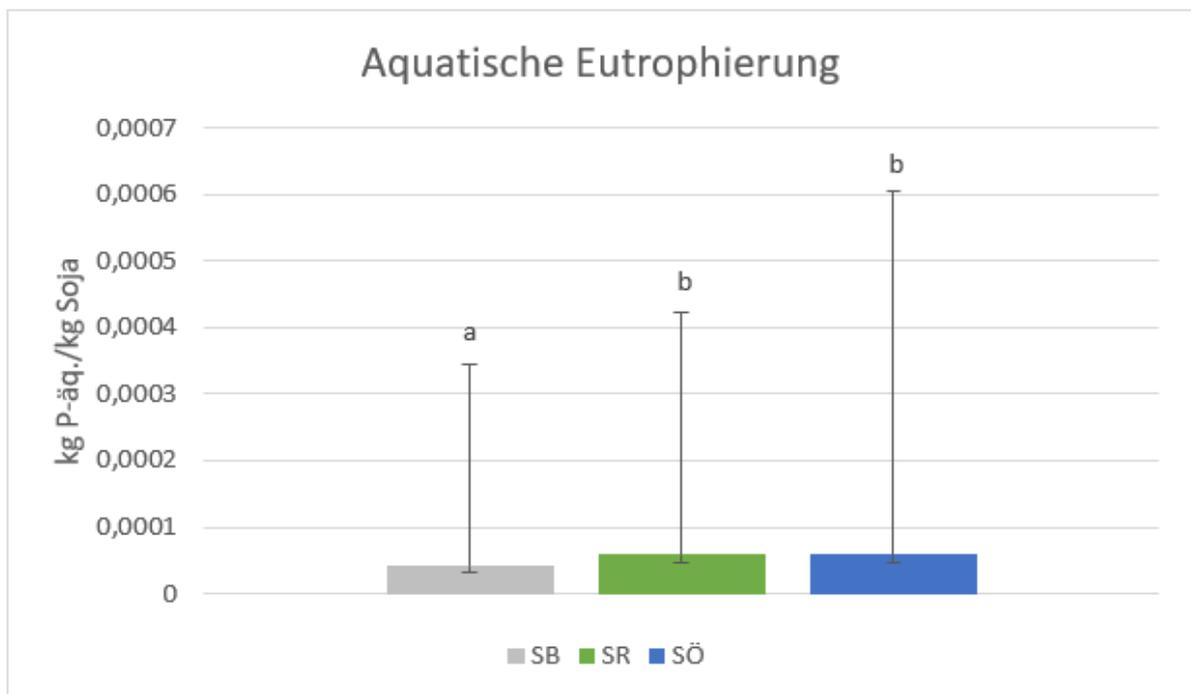


Abbildung 29 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Eutrophierung. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der

Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

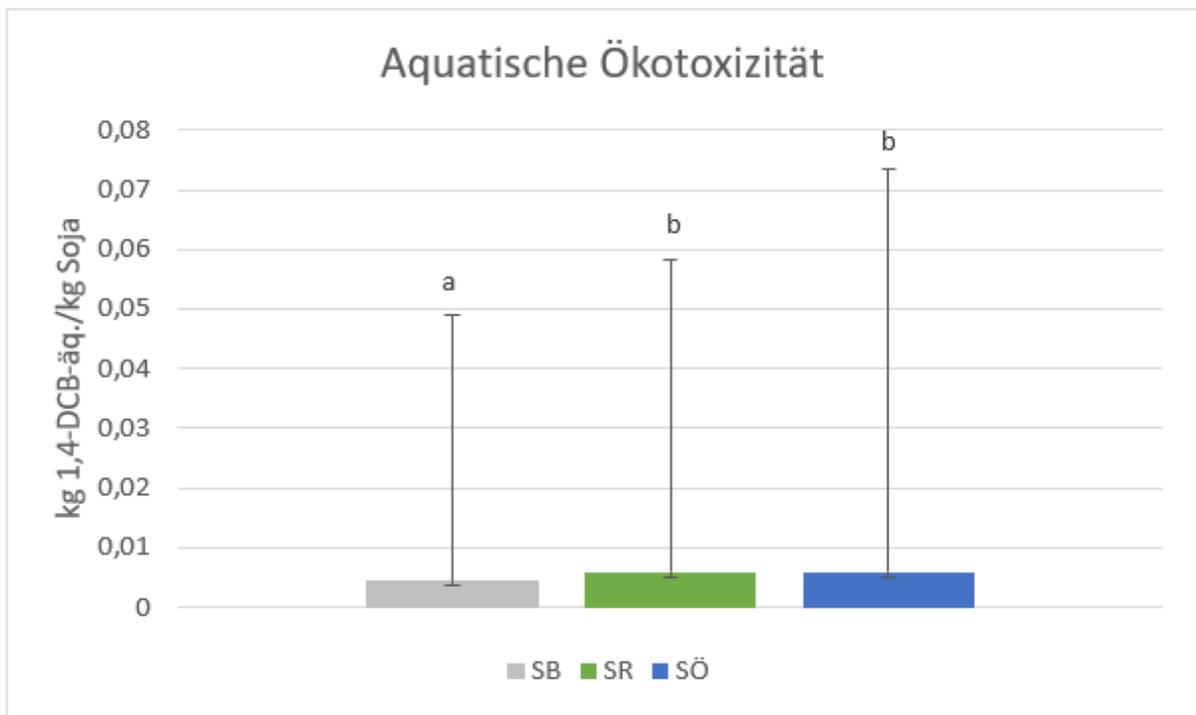


Abbildung 30 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur aquatischen Ökotoxizität. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

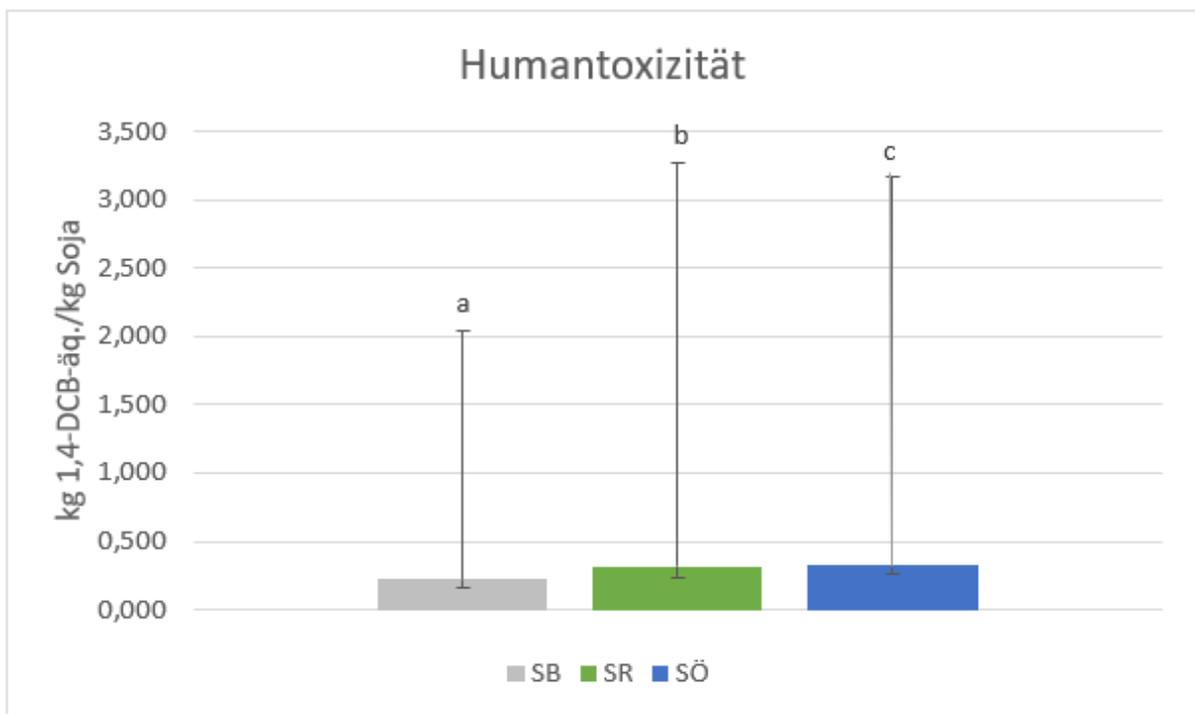


Abbildung 31 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur Humantoxizität. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interperzentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

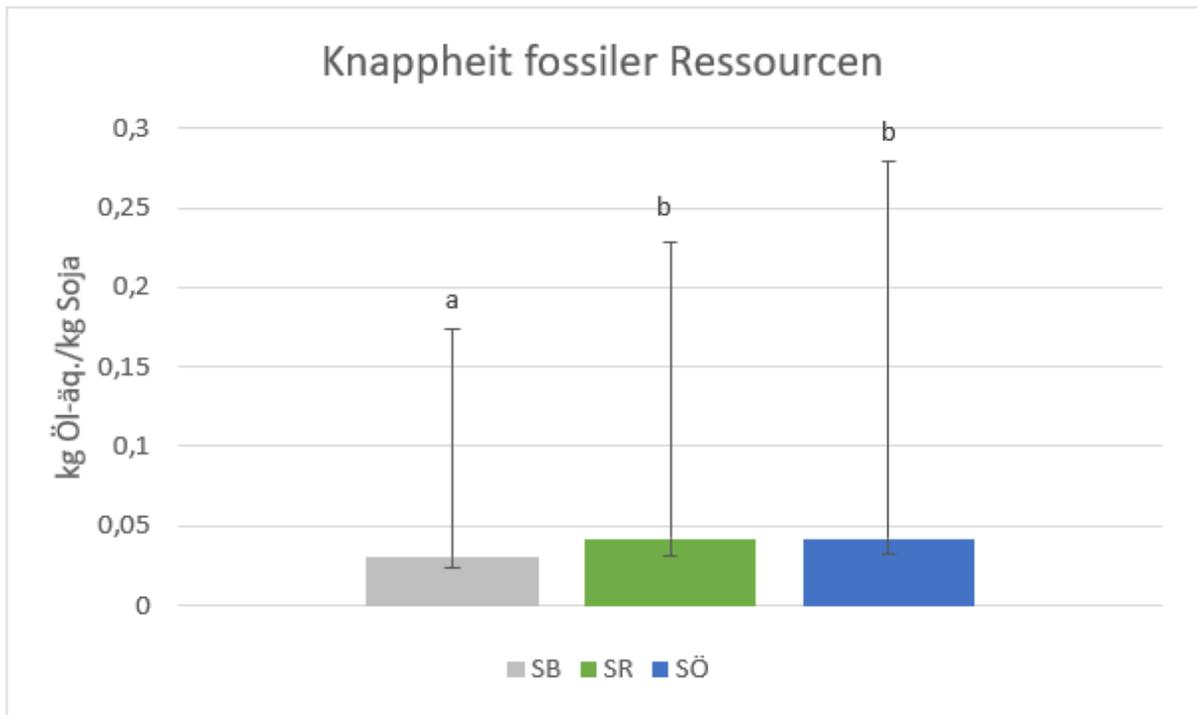


Abbildung 32 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur Knappheit fossiler Ressourcen. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation

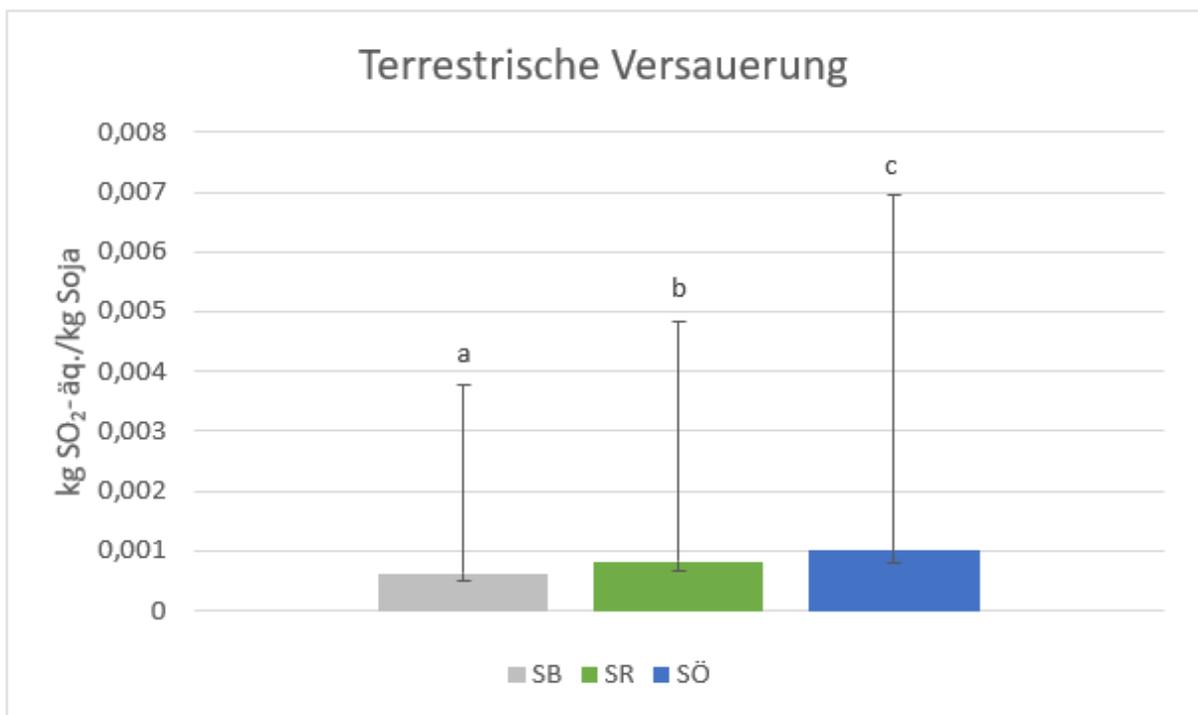


Abbildung 33 Gesamtbeiträge der Sojaanbausysteme zur terrestrischen Versauerung. Fehlerbalken zeigen den 5-95%igen Interpercentilabstand der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, basierend auf 1.000 Iterationen der Monte-Carlo Simulation