



Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Department für nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Landtechnik



Stickstoffmodellierung in Agrarökobilanzen

Auswahl und Vergleich einfacher Modelle für den Ackerbau

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

Masterstudium: Nutztierwissenschaften

vorgelegt von

Florian Roidmayr, BSc

betreut von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Gronauer

Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Piringer

Wien, am 29. November 2016

Danksagung

Mit der Vollendung dieser Arbeit
neigt sich ein besonderer Lebensabschnitt dem Ende.

So ist es an der Zeit,
dass ich mich bei allen, die mich auf diesem Weg begleitet haben,
von ganzem Herzen bedanke!

Andreas Gronauer
Alexander Bauer
sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Landtechnik und Stefan Schweiger
für die kritische, konstruktive und fachliche Unterstützung während des
Masterseminars und meiner gesamten Masterarbeit.

Barbara Kitzler, Kerstin Michel und Johannes Hösch
für die rasche und unbürokratische Verfügbarmachung der Messdaten.

Eva
für die sprachliche Unterstützung trotz Deiner „besonderen Umstände“

Gerhard
für Deine unendliche Geduld und
dafür, dass Du mich immer wieder zum roten Faden geführt hast
für Deine motivierenden Worte, immer und immer wieder und Dein Engagement

Anni, Karin und all meinen Kollegen der SLK
für eure Unterstützung, die Motivation und euer Verständnis

All meinen Freunden

Meiner Familie
Monika
für Deine guten Ratschläge und all Deine Unterstützung
Silvia & Wolfgang
für euer offenes Ohr und die unzähligen Aufmunterungen
Paula
dafür, dass Du mir immer wieder gezeigt hast, was wirklich wichtig ist

Meinen Eltern Resi und Hubert
Euch gebührt der größte Dank
dafür, dass ihr mich immer unterstützt und mir alles ermöglicht habt

Christina
Danke, dass es Dich gibt!

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, November 2016

ROIDMAYR FLORIAN

Zusammenfassung

Stickstoff ist in der Landwirtschaft von großer ökonomischer Bedeutung. Er ist einer der drei Hauptnährstoffe für Nutzpflanzen und ist somit für den Betrieb ökonomisch, aber auch ökologisch sehr wichtig.

So tragen N-Verbindungen zu aquatischer sowie terrestrischer Eutrophierung bei, fördern die Versauerung der Böden und sind maßgeblich am anthropogenen Klimawandel beteiligt.

Eine Methode, diese negativen Aspekte auf die Umwelt zu bewerten, ist die Ökobilanz (Life Cycle Assessment – LCA).

Um N-Emissionen zu erfassen, werden in aktuellen Agrar-LCA-Studien meist nur grobe Schätzungen vorgenommen. Da aber die N-Emissionen von lokalen Einflussfaktoren abhängig sind und dabei stark variieren, sind grobe Schätzwerte für möglichst genaue LCA inputs nicht optimal.

Es können daher Stickstoffmodelle verwendet werden, welche die regionalen Einflüsse genauer berücksichtigen. Dabei gibt es eine Vielzahl an Modellen. Eine Literaturrecherche von Agrar-LCAs zeigte jedoch, dass sich bis dato kein für die Ökobilanz gut geeignetes Modell durchgesetzt hat.

Diese Arbeit verfolgt deshalb das Ziel, mögliche Stickstoffmodelle für die Anwendung auf Ackerflächen zu erheben und dabei zu bewerten, ob die N-Modelle für die einfache Anwendung in einer Ökobilanz tauglich sein können. Im Anschluss sollten das am besten geeignete Modell anhand eines Testfeldstückes validiert werden.

Durch eine Literaturrecherche wurden 29 Modelle erhoben und mittels eines zweiteiligen Kriterienkataloges in zwei Stufen, nach Mindest- und nach Qualitätskriterien, beurteilt. Dazu wurden die Anforderungen an das Modell, wie z.B.: Anwendbarkeit auf Acker, die Modellverfügbarkeit, sowie die Qualität und Quantität der nötigen Inputparameter und die Verfügbarkeit von Validierungsdaten bezüglich der N-Emissionen bewertet.

Dabei erreichten drei der 29 Modelle, *CropSyst*, *MONICA* und *STICS*, die zweite Stufe der Bewertung nach Qualitätskriterien.

Keines der drei Modelle erfüllt diese jedoch vollständig, da kein Modell über ausreichend Validierungsdaten verfügte und *MONICA* nur NO_3^- -Emissionen simuliert. Des Weiteren erwies sich die praktische Anwendung als Herausforderung, da es bei der Simulation mit *CropSyst* und *MONICA* zu Softwarefehlern kam.

Es konnte somit nur das Modell *STICS*, welches zwar ebenso nicht alle notwendigen Kriterien vollständig erfüllte, aber nach einer gewichteten Kriterienreihung das beste der drei Modelle der drei war, einer Validierung der N₂O-Emissionen anhand eines Testfeldstückes unterzogen werden. Dabei zeigt sich, dass die Modellergebnisse signifikant niedrigere Emissionen liefern als die Messwerte.

Die gewählte Methodik dieser Arbeit erwies sich als zielführend. Jedoch gibt es durchaus Bedarf einzelne Schritte nachzubessern. Dies trifft vor allem auf die Definitionen der einzelnen Kriterien zu, welche zum Teil zu unscharf definiert waren.

Abstract

Nitrogen is economically highly important in agriculture. It is one of the three main nutrients of agricultural crops and therefore economically and ecologically very important for a farm.

N-compounds contribute to aquatic as well as terrestrial eutrophication, they enhance the acidification of the soil and they are significantly involved in climatic changes.

One method to assess these negative effects on the environment is Life Cycle Assessment (LCA).

In current agricultural LCA-studies mostly rough estimations are being made in order to measure N-emissions. Nevertheless, since N-emissions are dependent on local influence factors and therefore highly variable, those rough estimations are not ideal for as accurate as possible LCA inputs. There is a large variety of nitrogen models which can be used to consider regional influences more precisely. However, a literature survey of agricultural LCAs shows that no suitable model has prevailed so far in LCA.

The aim of this master thesis is to survey possible nitrogen models for an application on arable land and evaluate if these N-models are useful for the application in the LCA. The most appropriate model is then validated with field experimental data.

In a literature research 29 models were taken into account and those models were assessed in two stages: minimum criteria and quality criteria.

The results of the testing showed, that three out of the 29 models, *CropSyst*, *MONICA* und *STICS*, reached the second stage of the assessment, namely an assessment following quality criteria. Nevertheless, none of the three models meets all of these criteria completely because no model provides sufficient validation results and *MONICA* only simulates NO_3^- emissions. Moreover, the practical application of the models turned out to be a challenge because with *CropSyst and MONICA*, software errors prevented further simulations.

The only model of the three which could be successfully implemented was *STICS*, although it too did not meet all the quality criteria completely. Nevertheless, it was, according to the results, the best of the three models and it could undergo a validation of the N_2O -emissions in the field test. Its estimates were significantly lower than the measured values.

The selected methodology turned out to be effective for achieving the study goals, despite a need to improve some individual steps. Especially the definitions of the criteria have to be formulated in greater detail.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Eidesstattliche Erklärung	II
Zusammenfassung	III
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
2 Problemstellung und Stand des Wissens	4
3 Zielsetzung	9
4 Hintergrundwissen	10
4.1 Die Stickstoffdynamik der Landwirtschaft	10
4.2 Modellierung	15
4.3 Die Rolle von Stickstoff in landwirtschaftlichen Ökobilanzen	17
5 Material und Methode	21
5.1 Literaturrecherche	23
5.2 Allgemeine Modellbeschreibung	24
5.3 Kriterienkatalog	26
5.3.1 Mindestkriterien	26
5.3.2 Qualitätskriterien	29
5.4 Modellreihung	32
5.5 Modellvalidierung	33
5.5.1 Angaben zum Standort des Lysimeterversuches Hirschstetten	33
5.5.2 Emissionsmessdaten des Lysimeterversuches Hirschstetten	35
6 Ergebnis und Diskussion	37
6.1 Erfassung und Beschreibung aktueller Modelle	37
6.2 Modellauswahl und -vergleich	38

6.2.1	Modellauswahl nach Bewertung der Mindestkriterien	38
6.2.2	Modellauswahl nach Bewertung der Qualitätskriterien.....	42
6.2.3	Modellvergleich auf Basis der Ergebnisse der Qualitätskriterien.....	50
6.3	Versuch einer Validierung des Modells <i>STICS</i>	51
6.3.1	Allgemeines und Dateneingabe der Simulation.....	51
6.3.2	Simulationsergebnisse	52
7	Schlussfolgerungen	59
7.1	Methodische Schlussfolgerungen.....	59
7.2	Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen	60
8	Weiterführende Arbeiten	62
9	Literaturverzeichnis.....	63
10	Anhang	78
10.1	Modellbeschreibungen	78
10.1.1	<i>AGRAMMON</i>	78
10.1.2	<i>AGROSIM</i>	79
10.1.3	<i>ALFAM</i>	80
10.1.4	<i>ANIMO</i>	81
10.1.5	<i>APSIM</i>	83
10.1.6	<i>CANDY</i>	84
10.1.7	<i>CENTURY</i>	86
10.1.8	<i>CERES</i>	87
10.1.9	<i>CropSyst</i>	88
10.1.10	<i>DAISY</i>	90
10.1.11	<i>DayCent</i>	91
10.1.12	<i>DNDC</i>	92
10.1.13	<i>DSSAT</i>	94
10.1.14	<i>EPIC</i>	94
10.1.15	<i>EU-ROTATE N</i>	96
10.1.16	<i>EXPERT N</i>	97
10.1.17	<i>HERMES</i>	98
10.1.18	<i>LEACHM</i>	99
10.1.19	<i>MONICA</i>	100
10.1.20	<i>N_ABLE</i>	101

10.1.21	<i>NEMIS</i>	102
10.1.22	<i>NLEAP</i>	103
10.1.23	<i>N-SIM</i>	104
10.1.24	<i>REPRO</i>	105
10.1.25	<i>RZWQM</i>	106
10.1.26	<i>SALCA NO3</i>	107
10.1.27	<i>SIMWASER</i>	109
10.1.28	<i>STICS</i>	110
10.1.29	<i>STOTRASIM</i>	111
10.2	Inputparameter zum Simulationslauf von <i>STICS</i>	112
10.2.1	Global parameters – General parameters.....	112
10.2.2	Local parameters – Initializations	116
10.2.3	Local parameters – Soils.....	117
10.2.4	Local parameters – Crop management	118
10.2.5	Local parameters – Climate	122
10.3	<i>STICS</i> – Simulationsergebnisse.....	148

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eine Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufes im Pflanzenbau (MOSIER et al. 2004).....	15
Abbildung 2: Prinzipien der Modellierungsphilosophie (ARAL 2010)	16
Abbildung 3: Grafische Darstellung des Methodenteils	22
Abbildung 4: Diagramm der Ergebnisse je Mindestkriterium	39
Abbildung 5: Modellergebnisse je Qualitätskriterien	50
Abbildung 6: Versionsnummer <i>STICS</i>	51
Abbildung 7: <i>STICS</i> - Ergebnis Diagramm: em_N2O	53
Abbildung 8: <i>STICS</i> - Ergebnis Diagramm: FsNH3	54
Abbildung 9: <i>STICS</i> - Ergebnis Diagramm: lessiv	55
Abbildung 10: Graphische Darstellung des Vergleiches des N ₂ O Modellergebnisses mit den Messwerten (Fehlerbalken = 95% Konfidenzintervall, n=3).....	58
Abbildung 11: <i>STICS</i> – Parameter: General parameters (Teil 1/4)	112
Abbildung 12: <i>STICS</i> – Parameter: General parameters (Teil 2/4).....	113
Abbildung 13: <i>STICS</i> – Parameter: <i>STICS</i> – Parameter: General parameters (Teil 3/4)	114
Abbildung 14: <i>STICS</i> – Parameter: General parameters (Teil 4/4).....	115
Abbildung 15: <i>STICS</i> – Parameter: Initializations (Teil 1/3)	116
Abbildung 16: <i>STICS</i> – Parameter: Initializations (Teil 2/3).....	116
Abbildung 17: <i>STICS</i> – Parameter: Initializations (Teil 3/3)	116
Abbildung 18: <i>STICS</i> – Parameter: Soils.....	117
Abbildung 19: <i>STICS</i> – Parameter: Crop management	118
Abbildung 20: <i>STICS</i> – Parameter: Crop management - irrigation (Teil 1/3)	119
Abbildung 21: <i>STICS</i> – Parameter: Crop management - irrigation (Teil 2/3)	120

Abbildung 22: <i>STICS</i> – Parameter: Crop management - irrigation (Teil 3/3).....	121
Abbildung 23: <i>STICS</i> – Parameter: Formating a weather file	122
Abbildung 24: <i>STICS</i> - Parameter: Weather station	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Methoden zur Quantifizierung der Stickstoffemissionen	4
Tabelle 2: Vergleich von Methoden basierend auf empirischen Emissions-Faktoren und prozessorientierten Modellen (LIAO et al. 2014).....	5
Tabelle 3: Einflussfaktoren N ₂ -Fixierung (GOLLNER)	11
Tabelle 4: Global Warming Potential von drei Treibhausgasen ohne Berücksichtigung der Klima-Kohlenstoff-Wechselwirkung (MYHRE et al. 2013)	18
Tabelle 5: Eutrophierungspotential (EP) wichtiger Emissionen (KLÖPFFER & GRAHL 2009)	19
Tabelle 6: Versauerungspotential (AP) einiger gasförmiger Emissionen (KLÖPFFER & GRAHL 2009).....	19
Tabelle 7: Schema der Allgemeinen Modellbeschreibung	25
Tabelle 8: Bewertungsschema statistischer Validierungsergebnisse (CANNAVO et al. 2008)	31
Tabelle 9: Wertungsschema Ergebnisse der Qualitätskriterien	32
Tabelle 10: Versuch Hirschstetten – Pflanzenbauliche Maßnahmen.....	34
Tabelle 11: N ₂ O-Emissionsmessdaten des Testfeldstücks (n=3)	36
Tabelle 12: Modelergebnisse der Mindestkriterien	40
Tabelle 13: Modellcharakteristika <i>CropSyst</i>	42
Tabelle 14: Bewertung der Qualitätskriterien <i>CropSyst</i>	44
Tabelle 15: Modellcharakteristika <i>MONICA</i>	45
Tabelle 16: Bewertung der Qualitätskriterien <i>MONICA</i>	47
Tabelle 17: Modellcharakteristika <i>STICS</i>	47
Tabelle 18: Bewertung der Qualitätskriterien <i>STICS</i>	49
Tabelle 19: Modellreihung auf Basis der Ergebnisse der Qualitätskriterien	50
Tabelle 20: <i>STICS</i> - Vergleich der N ₂ O Modellwerte mit den N ₂ O Messwerten (n=3)	56
Tabelle 21: <i>AGRAMMON</i> Mindestkriterien	79

Tabelle 22: <i>AGROSIM</i> Mindestkriterien.....	80
Tabelle 23: <i>ALFAM</i> Mindestkriterien.....	81
Tabelle 24: <i>ANIMO</i> Mindestkriterien.....	82
Tabelle 25: <i>APSIM</i> Mindestkriterien	84
Tabelle 26: <i>CANDY</i> Mindestkriterien	85
Tabelle 27: <i>CENTURY</i> Mindestkriterien	86
Tabelle 28: <i>CERES</i> Mindestkriterien	88
Tabelle 29: <i>CropSyst</i> Mindestkriterien	89
Tabelle 30: <i>DAISY</i> Mindestkriterien.....	90
Tabelle 31: <i>DayCent</i> Mindestkriterien.....	92
Tabelle 32: <i>DNDC</i> Mindestkriterien	93
Tabelle 33: <i>DSSAT</i> Mindestkriterien.....	94
Tabelle 34: <i>EPIC</i> Mindestkriterien	95
Tabelle 35: <i>EU-ROTATE</i> Mindestkriterien.....	96
Tabelle 36: <i>EXPERT N</i> Mindestkriterien.....	98
Tabelle 37: <i>HERMES</i> Mindestkriterien	99
Tabelle 38: <i>LEACHM</i> Mindestkriterien.....	100
Tabelle 39: <i>MONICA</i> Mindestkriterien	101
Tabelle 40: <i>N_ABLE</i> Mindestkriterien.....	102
Tabelle 41: <i>NEMIS</i> Mindestkriterien	103
Tabelle 42: <i>NLEAP</i> Mindestkriterien.....	104
Tabelle 43: <i>NSIM</i> Mindestkriterien.....	105
Tabelle 44: <i>REPRO</i> Mindestkriterien.....	106
Tabelle 45: <i>RZWQM</i> Mindestkriterien.....	107
Tabelle 46: <i>SALCA NO3</i> Mindestkriterien.....	108
Tabelle 47: <i>SIMWASER</i> Mindestkriterien	109
Tabelle 48: <i>STICS</i> Mindestkriterien	110

Tabelle 49: <i>STOTRASIM</i> Mindestkriterien.....	111
Tabelle 50: <i>STICS</i> - Parameter: Wetterdatei	123
Tabelle 51: <i>STICS</i> - Simulationsergebnisse	148

Abkürzungsverzeichnis

BOKU *Universität für Bodenkultur*
Gt *Giga Tonnen*
Gt CO₂-eq Gigatonnen CO₂ -
Äquivalent
ha *Hektar*
kg *Kilogramm*
kt *kilo Tonnen*
LCA *Life Cycle Assessment*
(*Ökobilanz*)

N *Stickstoff*
N₂ *Elementarer Stickstoff*
N₂O *Distickstoffmonoxid (Lachgas)*
NH₃ *Ammoniak, Ammoniak*
NH₄⁺ *Ammonium*
NO₃⁻ *Nitrat*
NO_x *Stickoxid*
t *Tonnen*

1 Einleitung

Zu den Hauptnährstoffen in der Landwirtschaft zählen Stickstoff, Phosphor und Kalium. Dabei kommt dem Stickstoff im Pflanzenbau eine besondere Bedeutung zu. Er beeinflusst die Wachstums- und Erhaltungsprozesse der Pflanzen und deren Ertragskomponenten spezifisch (DIEPENBROCK et al. 2005). Im A-Horizont des Bodens liegt der Stickstoff in lebender Wurzelmasse, in Bodenlebewesen und in abgestorbener organischer Masse bzw. in Humus gebunden vor. Ein kleiner Rest liegt als Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) im Bodenwasser vor.

Ziel einer ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Bodennutzung ist es im Allgemeinen die Nährstoffbilanzen und somit auch die Stickstoffbilanz, im Gleichgewicht zu halten. Dazu muss die Höhe der Inputs gleich der Höhe der Outputs sein.

$$\text{Düngung} + \text{Immission} + \text{Mineralisierung} = \text{Ernteentzug} + \text{Austrag} + \text{Immobilisierung}$$

(KUNTZE et al. 1994)

Für den Nährstoff Stickstoff war diese Bilanz in Österreich im Durchschnitt der Jahre 1990 bis 1992 noch bei +56kg pro Hektar und Jahr. Dieser Überschuss wurde jedoch auf +30kg pro Hektar und Jahr im Durchschnitt der Jahre 2007 bis 2009 fast halbiert (OECD 2013).

Die Ermittlung der notwendigen Düngemenge muss so erfolgen, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Stickstoffbedarf und der Stickstoffversorgung zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist. So kann eine zu hohe bzw. unzeitige N-Düngung verstärkt zu N-Verlusten, in Form von NO_3^- -Auswaschung, gasförmigen N_2O - und NH_3 -Emissionen, führen.

Diese haben zum einen ökonomisch negative Auswirkungen, da wertvoller Düngernährstoff verloren geht und zum anderen negative Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen, da NO_3^- das Grundwasser und somit unser Trinkwasser, sowie Oberflächengewässer belastet, N_2O eines der drei wichtigsten klimarelevanten Gase ist und NH_3 primär für die Bildung versauernder und eutrophierender

Schadstoffe sowie für die Bildung von Feinstaub verantwortlich ist (UMWELTBUNDESAMT 2016).

Damit die landwirtschaftlichen Prozesse ökologisch und ökonomisch optimal betrieben werden können, ist die genaue Kenntnis über deren negativen Aspekte nötig.

Eine Methode, diese negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu bewerten, ist die Ökobilanz.

Ermittelt man die Ökobilanz eines landwirtschaftlichen Prozesses oder Produktes, so ist es notwendig in den zu untersuchenden Systemrahmen die Gefährdung der Umwelt mittels Stickstoffeinträgen aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre, den Boden und das Grundwasser miteinzubeziehen und die emittierten Schadstoffmengen zu quantifizieren.

Diese Quantifizierung ist von großer Bedeutung, da, wie Ergebnisse von durchgeführten Agrar-LCA Studien zeigen, eine im Sinne der Ökobilanz gute Performance von Agrarproduktionssystemen weitgehend vom Stickstoffeinsatz und den Stickstoffemissionen abhängt (BRENTROP et al. 2004). In welcher Weise sich diese Emissionen auswirken und wie diese zu bewerten sind, wird im Kapitel 4 Hintergrundwissen näher beleuchtet.

Die emittierten Schadstoffmengen sind von sehr vielen Faktoren abhängig und können stark variieren. Um sie dennoch, ohne messen zu müssen, quantifizieren zu können, ist es möglich diese mit Modellen zu berechnen.

Dafür gibt es eine Vielzahl an Modellen, welche sich mit dem Stickstofffluss in der Landwirtschaft beschäftigen. Diese unterscheiden sich jedoch in den Anforderungen, welche sie an die Ausgangsdaten stellen, in der Komplexität und in den Ergebnissen, welche sie liefern, voneinander sehr.

Aus all diesen Modellen, sind daher jene zu finden, welche mit schnell bzw. einfach verfügbarem Datenmaterial, für eine Ökobilanz passende Ergebnisse mit ausreichender Qualität liefern.

In dieser Arbeit wird nun versucht einen Überblick über die Modellierung von Stickstoffemissionen und die Anwendung solcher Modelle in Ökobilanzen zu geben. Im Anschluss daran werden vorhandene Stickstoffmodelle nach definierten Kriterien sortiert und deren Eignung für die Ökobilanz näher beleuchtet.

Jene Modelle, welche im Sinne dieser Arbeit als geeignet erscheinen, werden im Anschluss anhand eines Fallbeispiels validiert.

2 Problemstellung und Stand des Wissens

Die negativen Auswirkungen der landwirtschaftlichen Prozesse und Produktion auf die Umwelt, sind in deren Ökobilanz zu erfassen.

Dabei ist aus der Literatur bekannt, dass die N-Emissionen von vielen Faktoren, wie z.B.: Klima und Wetterverhältnisse, Eigenschaften des Bodens sowie Zeitpunkt und Art der Bewirtschaftung abhängig sind und sowohl zeitlich als auch räumlich stark variieren.

Um sie trotzdem möglichst genau zu erfassen und zu quantifizieren, gibt es verschiedene Methoden.

Sie können gemessen, auf Basis verschiedener Ansätze geschätzt oder modelliert werden.

Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick der Methoden und führt die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methode an.

Tabelle 1: Übersicht der Methoden zur Quantifizierung der Stickstoffemissionen

	Pro	Contra
Messungen	Genauere Ergebnisse	Zeit- und kostenintensiv
Schätzwerte	Einfach und schnell verfügbar	Hohe Unsicherheit
Modellierung	Genauer als Schätzwerte	Verfügbarkeit der Inputfaktoren

In LIAO et al. 2014 werden Methoden basierend auf empirischen Emissions-Faktoren und prozessorientierte Modelle als die üblichen Methoden, welche in der Ökobilanzmethode Verwendung finden, genannt.

Ein Vergleich der beiden Methoden ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Vergleich von Methoden basierend auf empirischen Emissions-Faktoren und prozessorientierten Modellen (LIAO et al. 2014)

Charakteristik	Methoden basierend auf empirischen Emissions-Faktoren	Prozessorientierte Methoden
Mathematisches Verhältnis	Stochastisch	Deterministisch
Datenanforderungen	Niedriger	Höher
Datenrepräsentativität	Niedriger	Höher
Primäre Fehlerquelle	Extrapolation	Unbekannte Parameter
Modellunsicherheit	Niedriger	Höher

Stehen ausreichend Daten zu Verfügung wird dabei die Anwendung von prozessorientierten Modellen empfohlen.

Aktuelle Agrar-Ökobilanzen, vor allem jene, welche die Außenwirtschaft behandeln, zeigen, dass die N-Emissionen einerseits hohe Beiträge zu den Gesamtemissionen liefern, diese aber, trotz dieser hohen Bedeutung, meist nur durch vereinfachte, grobe Emissionsfaktoren abgeschätzt werden, welche die komplexen Einflüsse auf die tatsächliche Höhe der Emissionen jedoch nicht berücksichtigen.

So werden in BRENTRUP et al. (2000) zu den laut der Studie wichtigsten Stickstoffemissionen, NH_3 , N_2O und NO_3^- , Methoden zu deren Schätzung vorgestellt. Dabei wurden für jede Emissionsart eigene Schätzmethode verwendet und am Ende anhand eines Beispielfeldstückes aus der Studie von AUDSLEY et al. (1997) mit den Ergebnissen daraus, welche ebenfalls geschätzt wurden, verglichen. Dieser Vergleich zeigte, dass die Ergebnisse der angewandten Schätzmethode verbesserungswürdig seien, aber durchaus brauchbare Daten für eine Ökobilanz liefern könnten (BRENTRUP et al. 2000).

Die Studie von THOMASSEN et al. (2008) vergleicht die Ökobilanzen von konventioneller und biologischer Milchproduktion in den Niederlanden und verwendet

für die Ermittlung der Stickstoffemissionen Werte aus MOSIER et al. (1998) und IPCC (2006).

Ebenso in der Studie von HASLER et al. (2015), in welcher die Ökobilanzen der Anwendung verschiedener Düngemittel in Deutschland verglichen werden, werden Werte aus IFA & FAO (2001) und IPCC (2000, 2003) für die Stickstoff-Feldemissionen verwendet.

Dies sind nur zwei Beispiele aus einer Vielzahl ähnlicher Studien, welche auf Schätzwerten von Stickstoffemissionen, meist nach der *IPCC* Methode, basieren.

In MEIER et al. (2014) werden die Schätzungen auf Basis des *IPCC* Modells jedoch kritisch gesehen, da in diesem die Schätzungen der N₂O-Emissionen nur auf dem Düngestickstoff basieren und dabei den Einfluss des Bodens unberücksichtigt lässt.

Ebenso zeigen die „Top Down Methoden“ zur globalen Abschätzung der N₂O-Emissionen, wie sie z.B.: in CRUTZEN et al. (2008) verwendet werden, dass diese wesentlich höhere N₂O-Emissionen erwarten lassen, als die meist verwendeten, einfachen Emissionsfaktoren (*IPCC*).

Andererseits zeigen konkrete Ökobilanzstudien, welche die N₂O-Emissionen genauer modellieren, dass die modellierten Emissionen eher geringer sind als die durch grob durch *IPCC* geschätzten.

LI et al. (2006) weist darauf hin, dass ebenso die vorhandenen NO₃⁻-Emissionsmodelle, welche in LCAs verwendet werden, in der Regel zu simpel sind, um die komplexen Interaktionen zu berücksichtigen.

In MEIER et al. (2015) werden 34 Studien, welche sich speziell mit dem Vergleich von LCAs von konventionellen und biologischen landwirtschaftlichen Produktionssystemen beschäftigen, miteinander verglichen, um im Allgemeinen die Eignung einer LCA für den Zweck des Vergleiches von konventionellen und biologischen Produktionssystemen zu beleuchten.

Trotz der 34 Studien ist es nicht möglich eine generelle Aussage über die Auswirkungen auf die Umwelt dieser beiden Produktionssysteme zu treffen. Dies wird unter anderem darin begründet, dass auf der Ebene der Sachbilanz nicht ausreichend differenziert wird. Dies betrifft vor allem auch die Stickstoffflüsse. Hier

fehlt es laut der Studie an der ausreichend detaillierten Erfassung der Unterschiede zwischen intensiver und extensiver Bewirtschaftung, welche durchaus Einfluss auf das Ergebnis haben.

In beiden Studien, MEIER et al. (2014) und MEIER et al. (2015), wird darauf hingewiesen, dass es bei den aktuell verfügbaren Modellen durchaus noch Verbesserungsbedarf gibt, um möglichst genaue Daten für Ökobilanzen zur Verfügung zu stellen und in weiterer Folge auch die Qualität und Aussagekraft der Ökobilanzen zu verbessern.

Daraus folgt, dass eine genauere, N-Kreislauf-Modell-basierte Abschätzung von N-Emissionen die Qualität von landwirtschaftlichen Ökobilanzergebnissen verbessern kann.

Das aktuelle Projekt *NitroAustria* verzichtete bewusst auf die Verwendung der IPCC Emissionsfaktoren, da diese nicht in der Lage sind die regional spezifischen N₂O-Emissionen zu erfassen und verwendeten das prozessbasierte Ökosystemmodell *LDNDC* (siehe 10.1.12). Leider gibt es zum aktuellen Zeitpunkt noch keine verfügbaren Ergebnisse.

Im Rahmen der Schweizer Ökobilanzmethode *SALCA* (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment), wurde speziell mit dem Ziel der Verwendung der Ergebnisse in einer Ökobilanz, das Modell *SACLA-NO3* (siehe 10.1.26) zur Beurteilung der Nitratauswaschung entwickelt. Dieses Modell berechnet jedoch nur die Nitratauswaschungen (RICHNER et al. 2014). Die weiteren Stickstoffemissionen, N₂O und NH₃, werden in *SALCA* von *AGRAMMON* (NH₃) (siehe 10.1.1) und den IPCC (2006) (N₂O) bezogen.

Im Rahmen des Projektes *Farmlife* wurde versucht diese Schweizer Ökobilanzmethode in Österreich anzuwenden. Dazu wurden an den verwendeten Emissionsmodellen Anpassungen vorgenommen, wo die Gegebenheiten bzw. die Datenverfügbarkeit anders waren als in der Schweiz. BYSTRICKY & NEMECEK (2015) kamen dabei zur Schlussfolgerung, dass die Ökobilanz-Methode *SALCA* in Österreich zwar funktioniere, es aber durchaus noch Verbesserungsbedarf an den verwendeten Emissionsmodellen gibt, um die Aussagen der Ökobilanz zu verfeinern.

Aus der Literatur und den genannten Beispielen geht hervor, dass meist mehrere verschiedene Modelle in einer Ökobilanz verwendet werden, um alle notwendigen N-Emissionen abzubilden.

SCHWEIGER (2016) folgt in seiner Arbeit der Fragestellung welche kombinierten C/N-Modelle speziell für die Anwendung auf Grünlandflächen gibt und konnte ebenso kein Modell finden, dass seinen Kriterien entsprach und alle relevanten N-Emissionen abbildet.

Dabei existiert eine Vielzahl an zum Teil sehr simplen und zum Teil sehr detaillierten, komplexen Modellen. Eine Literaturrecherche von Agrar-Ökobilanzen zeigt jedoch, wie in den Beispielen oben bereits erwähnt, dass sich bis jetzt kein für die Ökobilanz gut geeignetes Modell durchgesetzt hat.

3 Zielsetzung

Globalziel

Ziel dieser Arbeit ist die Auswahl und der Vergleich von verfügbaren, praktikablen Stickstoffmodellen mit Schwerpunkt auf Ackerflächen für die Anwendung in Agrar-Ökobilanzen für die österreichische Landwirtschaft.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden folgende Teilziele definiert:

1. Erfassung und Beschreibung aktueller Modelle

Literaturrecherche und Charakterisierung möglichst vieler aktuell verwendeter Modelle.

2. Erstellung eines Kriterienkataloges

Zur Beurteilung der recherchierten Modelle wird ein Kriterienkatalog erstellt, der die Modelle auf die Tauglichkeit der Anwendung in einer Ökobilanz hin bewertet.

3. Modellauswahl und Vergleich

Auswahl der mittels definiertem Kriterienkatalog bestgeeignetsten Modelle und Vergleich mit Messdaten eines Fallbeispiels.

4 Hintergrundwissen

Im Folgenden werden nun die für diese Arbeit relevanten Punkte: Die Stickstoffdynamik der Landwirtschaft (4.1), Modellierung (4.2), sowie Die Rolle von Stickstoff in landwirtschaftlichen Ökobilanzen (4.3) im Allgemeinen näher beleuchtet.

4.1 Die Stickstoffdynamik der Landwirtschaft

Der ausgebrachte Düngerstickstoff (mineralisch und organisch), aber auch die aus Humus und Vorfruchtresten anfallenden N-Mengen unterliegen im Boden dynamischen Veränderungen, die nur schwer zu kontrollieren sind. Neben der Immobilisierung kommt es zu Freisetzungprozessen unter Bildung von pflanzenverfügbarem Nitrat (NO_3^-) bzw. Ammonium (NH_4^+) nach Mineralisation und von gasförmigen N-Verbindungen wie Ammoniak (NH_3), Stickoxid (NO_x), Lachgas (N_2O) oder elementarem Stickstoff (N_2) nach Nitrifikation und Denitrifikation.

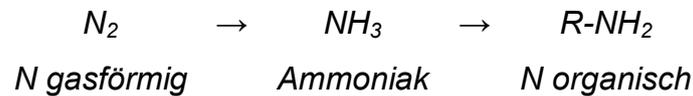
Besonders nicht aufgenommenes Nitrat belastet die Umwelt. Da es im Sorptionskomplex des Bodens nicht gebunden wird, kann Nitrat mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten gelangen und das Grundwasser und schließlich Seen und Fließgewässer kontaminieren. Gasförmige N_2O -Verluste steigern den Anteil klimarelevanter Gase und die gasförmigen NH_3 -Verluste tragen in erster Linie zur Versauerung von Wasser und Boden bei.

So kann der pflanzenverfügbare anorganische N-Anteil je nach Standort, Witterung und Bewirtschaftung sehr variabel und N-Verluste in Folge von Umsetzungen der organischen Stoffe im Boden erheblich sein (DIEPENBROCK et al. 2005).

Die Stickstoffdynamik beruht nach LOCHNER & BECKMANN (2015) und JOHNSON et al. (2005) im Einzelnen auf folgenden Abläufen.

Stickstofffixierung

Die Stickstofffixierung bzw. Stickstoffbindung ist die Umwandlung von atmosphärischem, elementarem Stickstoff (N_2) über Ammoniak (NH_3) in organisch gebundenen, pflanzenverfügbaren Stickstoff (MIYAMOTO et al. 2008).



Im Gegensatz zur industriellen N-Fixierung des Haber-Bosch Verfahrens, in welchem durch hohen Druck und hohe Temperaturen Ammoniak synthetisch hergestellt wird, binden in der biologischen N-Fixierung stickstofffixierende Bakterien den Luftstickstoff in Form von Ammonium.

Zu den freilebenden Stickstoff-Fixierern gehören unter anderen die Gattungen: *Calothrix*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Klebsiella*. In Symbiose mit Pflanzen leben unter anderen *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Photrhizobium* und *Frankia* (BRECHNER et al. 2001). Die Menge des fixierten Stickstoffes pro Hektar schwankt dabei sehr stark (10kg – 400kg N/ha/Jahr) und ist von abiotischen und biotischen Faktoren (siehe Tabelle 3) abhängig (GOLLNER). Die weltweite Gesamtmenge der industriellen N-Fixierung beträgt etwa $80 \cdot 10^6$ t/Jahr und der biologischen N-Fixierung etwa $190 \cdot 10^6$ t/Jahr (BRECHNER et al. 2001).

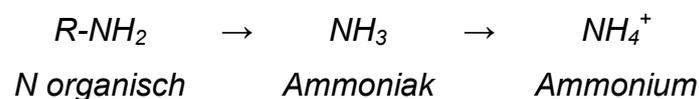
Tabelle 3: Einflussfaktoren N_2 -Fixierung (GOLLNER)

Biotische Faktoren	<ul style="list-style-type: none">• Leguminosenart (Körner-/Futterleguminose)• Populationsgröße im Boden• Bestandesdichte und –zusammensetzung der Leguminosen• Nutzungsdauer Wirtspflanze (ein- oder zweijährig)• Nutzungsart (Schnittnutzung – Gründüngung)• Nutzungsintensität (Schnitthäufigkeit)• Vitalitätszustand der Wirtspflanze• Krankheiten der Wirtspflanze (Fusarien)• Tierische Schädlinge (Blattrandkäfer)
---------------------------	---

Abiotische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Bodentyp, -art, -bearbeitung • Bodentemperatur • Lichtintensität, Tageslänge • Sauerstoffgehalt der Bodenluft • Kohlendioxidgehalt • Bodenwassergehalt • pH-Wert Boden • Nährstoffgehalt Boden (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Bor, Molybdän, Eisen, ...)
----------------------------	--

Mineralisation

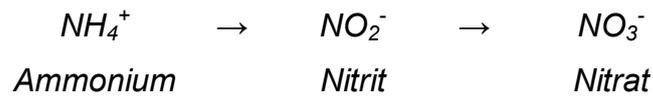
Darunter versteht man im Allgemeinen die Umwandlung von Stickstoff aus organischen Verbindungen (z.B.: aus organischen Dünger) durch Kleinlebewesen in anorganische Verbindungen. Dabei entsteht zunächst Ammoniak (NH_3), das sich im Bodenwasser zu Ammonium (NH_4^+) umwandelt. Dies steht den Pflanzen zur Verfügung oder bindet sich an negativ geladene Sorptionskomplexe im Boden.



Je enger das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff in der organischen Masse und je besser der Boden durchlüftet, erwärmt und mit Wasser versorgt ist, desto stärker verläuft die Mineralisation (LOCHNER & BECKMANN 2015). Des Weiteren spielt auch der pH-Wert des Bodens bei der Mineralisierung eine Rolle. Im Mittel kann mit einer jährlichen Mineralisierung von 1-3% des organisch gebundenen Stickstoffs im Boden gerechnet werden (DOLESCHEL & FRAHM 2014).

Nitrifikation

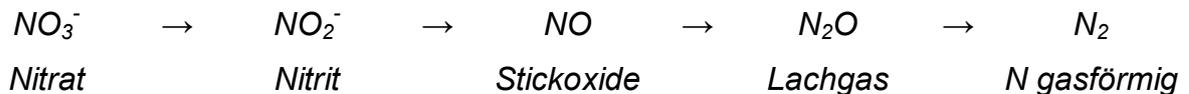
Dies ist die Umwandlung von Ammonium- (NH_4^+) in Nitrationen (NO_3^-). Zwei Bakteriengruppen beteiligen sich daran. Die *Nitrosomonas* wandeln Ammonium (NH_4^+) zu Nitrit (NO_2^-) um. Im zweiten Schritt oxidieren *Nitrobacter* Nitrit zu Nitrat (NO_3^-), vorausgesetzt im Boden befindet sich genügend Sauerstoff.



Die Nitrifikation läuft am intensivsten bei neutraler Bodenreaktion und Temperaturen zwischen 25-30°C, also während der Vegetationsperiode, ab. Mit sinkender Temperatur nimmt sie ab und kommt bei Bodenfrost zum Erliegen. Dieser Vorgang setzt Wasserstoff-Ionen (H⁺) frei. Damit steigt deren Konzentration in der Bodenlösung und der pH-Wert sinkt. Die Nitrifikation wirkt also kalkzehrend und bodenversauernd, wenn die Pufferkapazität des Bodens nicht ausreicht (DOLESCHEL & FRAHM 2014).

Denitrifikation

Zahlreiche Bakterien reduzieren unter Luftabschluss Nitrat (NO₃⁻) zu molekularem Stickstoff (N₂) oder zu Stickoxiden. Diese N-Verbindungen sind zum Teil in Wasser (NO₂⁻) gelöst oder entweichen gasförmig in die Luft (NO, N₂O).

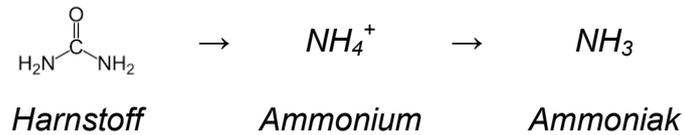


Voraussetzung für die Denitrifikation ist Sauerstoffmangel. Sie steigt mit der Bodenfeuchte, der Temperatur, dem Anteil leicht zersetzbarer organischer Substanz und dem NO₃⁻-Gehalt des Bodens.

Unter günstigen Bedingungen, das heißt auf verdichteten, vernässten Böden, können die gasförmigen N-Verluste erheblich sein. Diese können bis zu 8% des mineralisierten Stickstoffes und bis zu 20% des organischen Düngerstickstoffes betragen (DOLESCHEL & FRAHM 2014).

Ammoniak-Verdampfung

Dies ist der Verlust von Stickstoff über die Umwandlung von Ammonium zu Ammoniak. Diese Verluste steigen mit erhöhtem Boden pH-Wert und unter verdunstungsgünstigen Bedingungen (z.B.: windig und heiß).



Diese Verluste sind höher, wenn die Düngemittel nur auf die Bodenoberfläche ausgebracht werden und nicht eingearbeitet werden.

Wirtschaftsdüngemittel enthalten Stickstoff in zwei verschiedenen Formen. Ammonium-Stickstoff und organischer Stickstoff. Wird der ausgebrachte Wirtschaftsdünger innerhalb eines Tages eingearbeitet, verbleiben bis zu 65% des Ammonium-N im Boden. Wird er erst nach fünf Tagen eingearbeitet, ist der Ammonium-N bereits verdampft (JOHNSON et al. 2005).

N-Auswaschung

Eine N-Auswaschung tritt ein, wenn Stickstoff in den nicht mehr durchwurzelten Bodenraum bzw. ins Grundwasser verlagert wird. Diese Verlagerung erfolgt in Form von $\text{NO}_3\text{-N}$, seltener auch als $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Der Umfang ist abhängig von der Bodenart, der Tiefgründigkeit und Durchlässigkeit der Böden, der Art und Dauer des Pflanzenbestandes, von der Höhe der Niederschläge und von produktionstechnischen Maßnahmen wie Höhe und Zeitpunkt der organischen bzw. mineralischen Düngung oder Fruchtfolge (DOLESCHEL & FRAHM 2014).

Abbildung 1 fasst nun die einzelnen Phasen des Stickstoffkreislaufes zusammen und stellt diese vereinfacht anhand eines pflanzenbaulich genutzten Bodens dar.

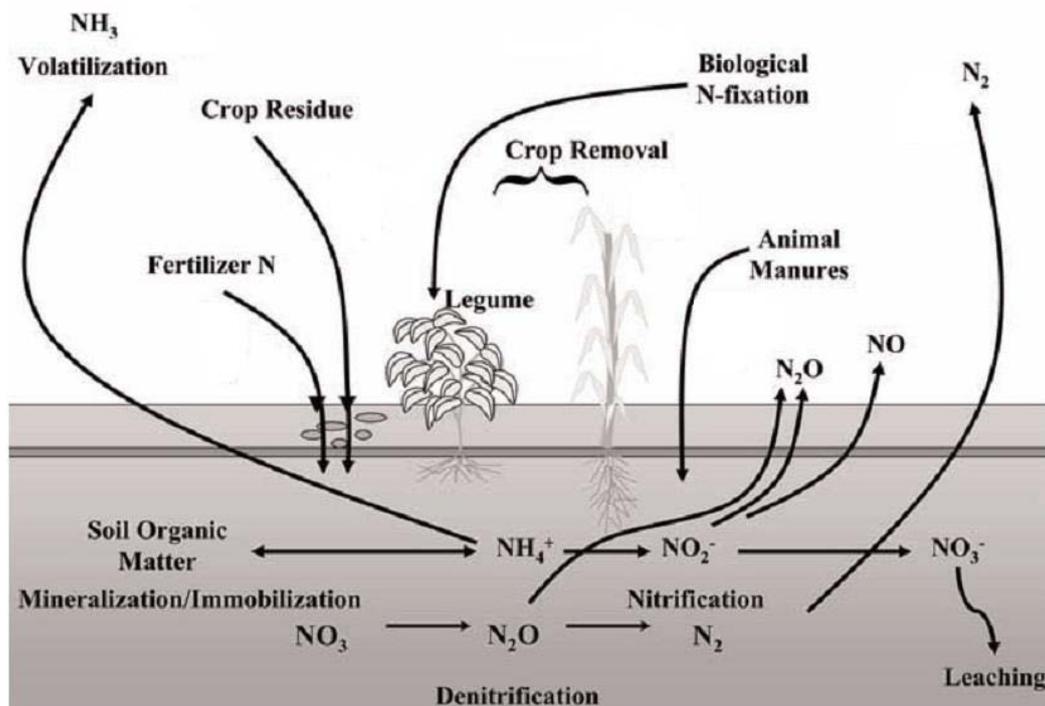


Abbildung 1: Eine Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufes im Pflanzenbau (MOSIER et al. 2004).

4.2 Modellierung

Mathematische Modelle im Rahmen der Umweltmodellierung im Allgemeinen, sind Abstraktionen des Umweltsystems und basieren auf unserem Wissen und Verstehen von physikalischen Prinzipien (ARAL 2010). Die Daten, welche ein solches Modell liefert, müssen daher immer einer detaillierten Interpretation unterzogen und evaluiert werden, bevor man davon ausgehen kann, dass diese repräsentativ für die modellierte Umwelt sind.

Die Prinzipien der Modellierungsphilosophie sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

Alle Modelle basieren dabei auf dem Konzept der Vereinfachung. Diese Vereinfachung kann durch Verringerung der Dimensionalität des Systems, durch Eliminierung unwichtiger Prozesse oder durch Einführung vereinfachter Definitionen

der Parameter und Variablen, welche das System beschreiben, erreicht werden (ARAL 2010).

Am Beispiel eines Modells zur Berechnung der Stickstoffdynamik im Boden-Pflanzen-Wasser-Gefüge hängt eine Vereinfachung mit der benötigten Quantität und Qualität der Inputparameter zusammen.

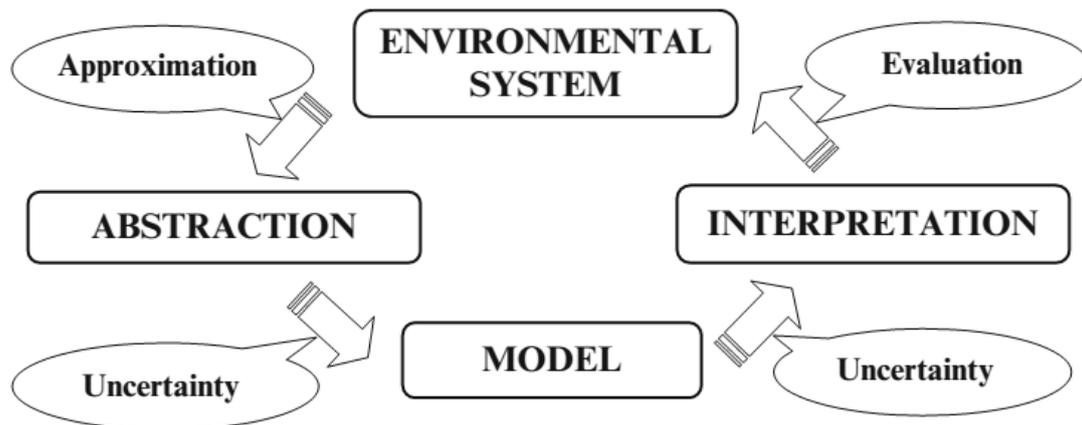


Abbildung 2: Prinzipien der Modellierungsphilosophie (ARAL 2010)

Verringert man den Anspruch an die Qualität der Inputparameter oder die benötigte Quantität an Parametern, leidet darunter mitunter die Aussagekraft des Modells. Die Unsicherheit und Variabilität steigt. Dieses Faktors sollte man sich bereits bei der Zielsetzung und später bei der Interpretation eines Modells bewusst sein, da es zu Fehleinschätzungen kommen kann, wenn man diesen nicht miteinkalkuliert (HUIJBREGTS 1998).

Die beste Methode die Modellunsicherheit zu beurteilen, ist die Modellvalidierung (HOFFMANN & HAMMONDS 1994). Dies ist ein Prozess, in welchem die Modellvorhersage mit zahlreichen unabhängigen Datensets verglichen wird. So zum Beispiel mit den Ergebnissen anderer validierter Modelle. Es können aber auch Ereignisse simuliert werden, von denen man das Ergebnis des modellierten Systems kennt (Ereignisvalidität) oder Extremsituationen simuliert werden und so die Plausibilität der Ergebnisse prüfen (SARGENT 1984). Am Ende dieses Prozesses steht eine explizite Aussage über das Verhalten des validierten Modells. Diese Aussage trifft aber nur unter jenen Annahmen zu, welche exakt für das Modell getroffen wurden (ARAL 2010).

4.3 Die Rolle von Stickstoff in landwirtschaftlichen Ökobilanzen

Für die Wertung von Emissionen in der LCA werden die Ergebnisse der Sachbilanz in verschiedene Output-bezogene Wirkungskategorien eingeteilt.

Die folgende Beschreibung der verschiedenen N-relevanten Wirkungskategorien basiert weitgehend auf KLÖPFFER & GRAHL (2009).

In der Kategorie Klimaänderung mit globaler Wirkungscharakteristik ist Distickstoffoxid (N_2O) (Lachgas) als eines der drei wichtigsten Treibhausgase von Bedeutung.

In der Wirkungskategorie Versauerung mit kontinentaler, regionaler und lokaler Wirkungscharakteristik ist die Base Ammoniak (NH_3) von Bedeutung, die durch Oxidation in der Troposphäre in NO_x umgewandelt wird und mit Wasser letztlich zu Salpetersäure reagiert.

In der Wirkungskategorie Eutrophierung, ebenfalls mit kontinentaler, regionaler und lokaler Wirkungscharakteristik, wird in aquatische und terrestrische Eutrophierung unterschieden.

Zur terrestrischen Eutrophierung tragen NH_3 und NO_x bei, welche in Binnenländern den bedeutendsten Input an N-haltigen Verbindungen in den Boden darstellen.

Aquatische Eutrophierung kann sowohl über den Wasserpfad, als auch über die Luft erfolgen. Dabei sind alle pflanzenverfügbaren N-Verbindungen von Bedeutung und es werden nur jene Verbindungen in die Sachbilanz aufgenommen, welche generell zur Aufnahme geeignet sind. Dies sind Stickstoffoxide (NO_x) (Eintrag über die Luft), Nitrat (NO_3^-) (Eintrag über das Wasser) und Ammonium (NH_4^+) (Eintrag über das Wasser).

Die Wertung der N-Emissionen in der Ökobilanz

Um nun die verschiedenen Emissionen innerhalb der einzelnen Wirkungskategorien der Ökobilanz vergleichbar zu machen, werden Indikatoren benötigt, mit welchen man deren Wirksamkeit und deren relative Umweltwirkung gegeneinander abwägen kann.

So ist das Global Warming Potential (GWP) in der Wirkungskategorie Klimaänderung ein solcher Indikator. Es gibt jene Masse an CO_2 an, welches denselben Effekt, in diesem Fall auf die Klimaänderung hat, wie ein Kilogramm eines anderen Treibhausgases. Da aber die unterschiedlichen Treibhausgase eine unterschiedliche

troposphärische Lebensdauer haben, muss den Modellrechnungen ein Zeithorizont vorgegeben werden, für welchen die Rechnung gelten soll. Für Ökobilanzen wird meist ein Zeithorizont von 100 Jahren (GWP_{100}) gewählt (KLÖPFFER & GRAHL 2009).

In Tabelle 4 sind die GWPs von drei Treibhausgasen, darunter das für diese Arbeit relevante N_2O , zusammengestellt.

Tabelle 4: Global Warming Potential von drei Treibhausgasen ohne Berücksichtigung der Klima-Kohlenstoff-Wechselwirkung (MYHRE et al. 2013)

Verbindung	Chem. Formel	Lebensdauer (Jahre)	GWP_{20}	GWP_{100}
Kohlendioxid	CO_2		1	1
Methan	CH_4	12,4	84	28
Distickstoffoxid	N_2O	121	264	265

Die Landwirtschaft ist nach BARKER et al. (2007) für 5,1 bis 6,1 Gt CO_2 -eq (das sind 10-12%) der gesamten globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Dabei entfallen 3,3 Gt CO_2 -eq auf CH_4 und 2,8 Gt CO_2 -eq auf N_2O . Global gesehen sind der Landwirtschaft somit 60% der anthropogenen N_2O Emissionen und 50% der anthropogenen CH_4 Emissionen zuzurechnen.

In Österreich stammten im Jahr 2014 82% (6,61kt) der gesamten N_2O -Emissionen der Landwirtschaft aus den direkten oder indirekten Emissionen der landwirtschaftlichen Böden. Die gesamten N_2O -Emissionen Österreichs betragen im Jahr 2014 3.427 kt CO_2 -eq (ANDERL et al. 2016).

Verschiedene Studien zeigten ebenso, dass der Anteil von N_2O am GWP nicht zu unterschätzen ist.

Bei der Bewertung des Anteils von N_2O am GWP von Ackerflächen der USA an berechneten Standorten wurden in MOSIER et al. (2005) Werte von 16-33% und an Standorten mit natürlichem Niederschlag Werte von 40-44% festgestellt.

Beim Vergleich eines high input system zu einem low input system am Beispiel einer Weizenkultur, wurden in YOUSEFI et al. (2016) ein Anteil von N_2O am GWP von 82,7% im high input system und von 0,8% im low input system festgestellt. Dabei wurde der hohe Unterschied der beiden Systeme vor allem auf den hohen externen Energieeinsatz bei high input system zurückgeführt.

In der Wirkungskategorie der Eutrophierung wird das Eutrophierungspotential (EP) der verschiedenen Emissionen über das PO_4^{3-} -Äquivalent ausgedrückt. Wobei hier zur Vereinfachung auf die Unterschiede zwischen aquatischer und terrestrischer Eutrophierung nicht näher eingegangen wird (KLÖPFFER & GRAHL 2009).

Das Eutrophierungspotential (EP) einiger wichtiger Emissionen wird in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Eutrophierungspotential (EP) wichtiger Emissionen (KLÖPFFER & GRAHL 2009)

Verbindung	Chem. Formel	EP
Stickstoffmonoxid	NO	0,20
Stickstoffdioxid	NO ₂	0,13
Stickstoffoxide	NO _x	0,13
Nitrat	NO ₃ ⁻	0,1
Ammonium	NH ₄ ⁺	0,33
Stickstoff	N	0,42
Phosphat	PO ₄ ³⁻	1

In der Wirkungskategorie der Versauerung wird das Versauerungspotential (AP) der verschiedenen Emissionen über das SO₂-Äquivalent ausgedrückt.

Das Versauerungspotential einiger, unter anderem für diese Arbeit relevanter Emissionen, sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Versauerungspotential (AP) einiger gasförmiger Emissionen (KLÖPFFER & GRAHL 2009)

Verbindung	Chem. Formel	AP
Schwefeldioxid	SO ₂	1
Stickstoffmonoxid	NO	0,80
Stickstoffdioxid	NO ₂	0,70
Distickstoffoxid	N ₂ O	0,70
Ammoniak	NH ₃	1,88

Die landwirtschaftlich bedeutendsten Emissionen, welche für die Versauerung relevant sind, sind wie bereits erwähnt, die Ammoniak-Emissionen.

Europaweit (EU28) wurden im Jahr 2014 etwa 3.918.162 Tonnen NH_3 aus anthropogenen Quellen emittiert. Etwa 93,75% davon (3.673.138 Tonnen) stammen dabei aus landwirtschaftlichen Quellen. In Österreich wurden im Jahr 2014 etwa 66.985 Tonnen NH_3 aus anthropogenen Quellen emittiert, das sind etwa 1,71% der EU28 Emissionen, wobei der Anteil der landwirtschaftlichen Quellen mit 94,00% (62.966 Tonnen) ähnlich dem europäischen ist (EUROSTAT 2016a).

Um nun die Bedeutung der Ammoniakemissionen innerhalb des Versauerungspotentials hervorzuheben, sind ebenso die österreichischen SO_2 -Emissionen aus dem Jahr 2014 mit 16.019 Tonnen zu erwähnen (EUROSTAT 2016b).

5 Material und Methode

Das Fundament dieser Arbeit ist die Erhebung von relevanten Modellen, welche sich mit dem Thema Stickstoffmodellierung beschäftigen.

Hierfür wurde mittels Literaturrecherche (siehe 5.1) versucht einen ersten Eindruck über den Umfang der vorhandenen Modelle zu gewinnen.

Dabei können die Modelle grob in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Agro-ecosystem models, welche sich neben Stickstoff noch mit weiteren Nährstoffströmen der Landwirtschaft beschäftigen und diese vor dem Hintergrund der Umweltauswirkungen simulieren (z.B.: *DNDC*),
- Crop-growth-simulation-models, deren eigentliche Aufgabe es ist, Ernteerträge zu berechnen und dafür auch den Stickstoffkreislauf berücksichtigen (z.B.: *CERES*; *CropSyst*, *MONICA*)
- Stickstoffmodelle, welche aus diversen Gründen einzelne N-Flüsse oder die gesamte N-Dynamik simulieren (z.B.: *AGRAMMON*, *ALFAM*, *SALCA-NO3*).

Nachdem die Frequenz der neu entdeckten Modelle immer geringer wurde, wurde die Erfassung nach 29 gefundenen Modellen beendet und es wurde damit begonnen die Modelle basierend auf einem allgemeinen Schema (siehe 5.2) zu beschreiben und zu charakterisieren und somit einen ersten Eindruck über die Eigenschaften des jeweiligen Modells zu gewinnen. Im nächsten Schritt wurden, basierend auf der Arbeit von (SCHWEIGER 2016), welche parallel entstand, die Modelle mittels eines Kriterienkatalogs in zwei Stufen beurteilt (siehe 5.3). Die erste Stufe ist die Bewertung der Mindestkriterien. Die zweite Stufe die Bewertung der Qualitätskriterien.

Jene Modelle, welche sowohl die Mindest- und in weiterer Folge die Qualitätskriterien erfüllen, die Finalmodelle, werden unter 6.2.2 beschrieben. Im Anschluss daran werden die Modelle nach deren Ergebnisse der Bewertung der Qualitätskriterien gereiht (siehe 5.4) und versucht sie anhand eines Beispielfeldstückes (siehe 5.5) zu validieren.

In Abbildung 3 werden nun die einzelnen Schritte des Methodenteils zur besseren Übersicht noch einmal zusammenfassend dargestellt.

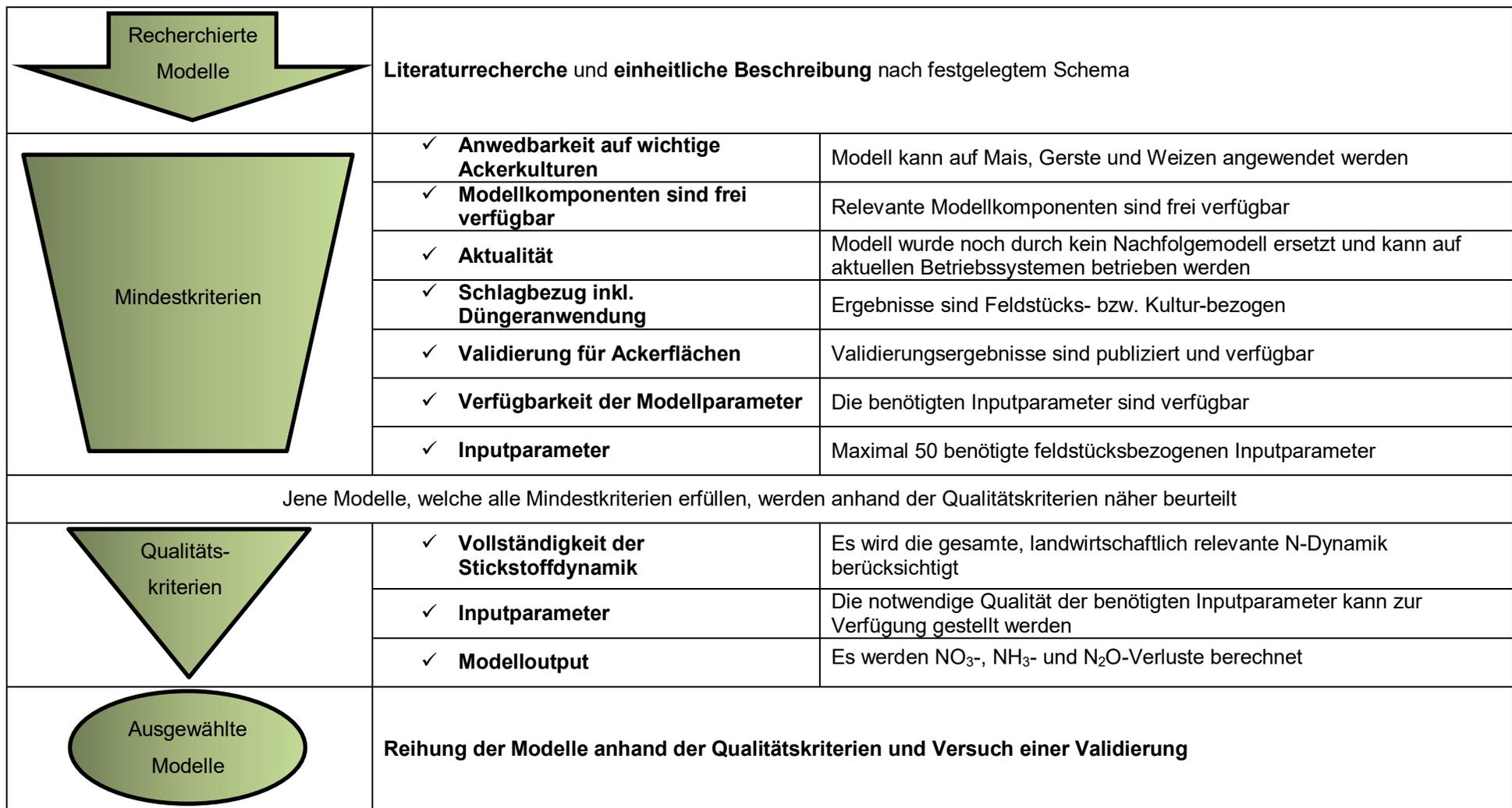


Abbildung 3: Grafische Darstellung des Methodenteils

Im Folgenden wird nun auf die methodischen Aspekte der einzelnen Schritte (5.1 Literaturrecherche, 5.2 Allgemeine Modellbeschreibung, 5.3 Kriterienkatalog, 5.4 Modellreihung und 5.5 Modellvalidierung) näher eingegangen.

5.1 Literaturrecherche

Grundlage der Literaturrecherche bot der Onlinekatalog der Bibliothek der Universität für Bodenkultur (BOKU), sowie diverse Onlinedatenbanken mit BOKU-Zugang (siehe unten), die Internetsuchmaschine *GoogleScholar* und in weiterer Folge die vollständigen Studien in den verschiedensten E-Journals (Beispiele dafür siehe unten), ebenso mit Zugang über die BOKU. Auch die Literaturlisten geeigneter Arbeiten und Studien gaben Hinweise auf weitere Modelle.

Verwendete Online Datenbanken

- *Agricola (Agricultural Online Access)*
(<https://www.ebscohost.com/academic/agricola>)
- *Scopus*
(<https://www.scopus.com/home.uri>)
- *ELSEVIER ScienceDirect*
(<http://www.sciencedirect.com/>)

Beispiele der meist verwendeten E-Journals

- *Ecological Modelling* (Verlag: *ELSEVIER*)
- *European Journal of Agronomy* (Verlag: *ELSEVIER*)
- *The International Journal of Life Cycle Assessment* (Verlag: *Springer*)
- *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (Verlag: *Springer*)

5.2 Allgemeine Modellbeschreibung

Im Anschluss bzw. parallel zur Literaturrecherche wurde versucht, mit den vorhandenen Informationen alle recherchierten Modelle möglichst einheitlich zu beschreiben (siehe 10.1). Dazu diente die allgemeine Modellbeschreibung (siehe Tabelle 7), welche in Zusammenarbeit mit dem Diplomarbeitbetreuer ausgearbeitet wurde. Dieses einheitliche Beschreibungsschema erfasst in den Kategorien „Entwickler und Entwicklung“, „Anwendung“ und „Methodik“ jene Eigenschaften, welche für die weitere Modellauswahl als relevant erschienen.

Die einzelnen Punkte mit den dazugehörigen Fragestellungen sind in Tabelle 7 dargestellt. Darin werden die einzelnen Fragestellungen den drei Kategorien zugeteilt und jeweils kurz erläutert.

Tabelle 7: Schema der Allgemeinen Modellbeschreibung

	Fragestellung	Erläuterung
Entwickler & Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> Name des Modells Entwickler Alter und Herkunft des Modells 	<ol style="list-style-type: none"> Abkürzung und vollständiger Name des Modells Wer hat das Modell (Uni, Firma, ...) wann und wo entwickelt? Gibt es Vorgänger- und /oder Nachfolge-Modelle?
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> Beabsichtigte Anwendung Zielgruppe der Anwender Vollständigkeit des N-Bilanz des Modells Nur für N oder Kombimodell für C/N, P,... Räumliche Auflösung Zeitliche Auflösung Anwendbare Kulturgruppen Anwendbare Bodenarten Standort der Anwendung 	<ol style="list-style-type: none"> Wofür und für welche Zielgruppe wurde das Modell entwickelt (Praxis, Forschung, Landwirte)? Welche Outputdaten liefert das Modell (Vollständigkeit der N-Dynamik bzw. werden zusätzlich andere Stoffe, wie z.B.: P, berechnet)? Welche räumliche und zeitliche Auflösung berechnet das Modell? Gibt es Einschränkungen des Modells bezüglich: Boden, Region, Kulturarten, etc.?
Methodik	<ul style="list-style-type: none"> Methodische Eigenschaften des Modells Modellvalidierung Softwareaspekte des Modells Betriebssystem Verfügbarkeit der benötigten Inputparameter Verfügbarkeit des Modells 	<ol style="list-style-type: none"> Handelt es sich um ein statisches oder dynamisches Modell? Welche weiteren methodischen Eigenschaften hat das Modell? Wurde das Modell validiert? Um welche Anwendung handelt es sich? Gibt es die Möglichkeit oder Notwendigkeit einer Verknüpfung mit einer anderen Software, wie z.B.: GIS? Welche Anforderungen stellt das Modell an das Betriebssystem? Anzahl der zumindest benötigten Inputparameter Kann das Modell heruntergeladen werden bzw. ist eine webbasierte Anwendung möglich oder Ähnliches?

5.3 Kriterienkatalog

In Anlehnung an SCHWEIGER (2016) wurde im Anschluss an die Modellbeschreibung die Auswahl der Modelle in zwei Stufen durchgeführt.

Die erste Stufe ist die Vorauswahl durch die Mindestkriterien (siehe 5.3.1). Diese dient dazu, jene Modelle zu finden, welche sich für eine genauere Betrachtung eignen.

Die zweite Stufe ist die Beurteilung der genauer zu betrachtenden Modelle anhand der definierten Qualitätskriterien (siehe 5.3.2). Dieser Beurteilung werden somit nur jene Modelle unterzogen, welche allen Mindestkriterien entsprechen.

Um diese Modelle bewerten zu können, wurde ein Kriterienkatalog erstellt, welcher zum Teil bereits in einer Anwendung auf Grünland ausgelegten Arbeit Verwendung fand. Daher mussten einige Punkte an die spezifischen Eigenschaften einer Modellanwendung auf Acker angepasst werden. So zum Beispiel die Anzahl der Inputfaktoren oder die Anforderung an die Anwendbarkeit der Modelle auf verbreitete Ackerkulturen.

5.3.1 Mindestkriterien

Basierend auf der Modellselektion von SCHWEIGER (2016) wurden diese zum Teil übernommen bzw. an die Anforderungen dieser Arbeit angepasst, sowie in Zusammenarbeit mit dem Diplomarbeitbetreuer erarbeitet.

Folgende Mindestkriterien werden definiert und im Anschluss die Modelle danach beurteilt. Stellt sich im Zuge dieser Beurteilung heraus, dass ein Modell bereits ein Mindestkriterium nicht erfüllt, wird auf eine weitere Betrachtung des Modells verzichtet.

Die Mindestkriterien im Überblick:

- Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen
- Modellkomponenten sind verfügbar
- Aktualität
- Schlagbezug inkl. Düngermanagement
- Validierungsergebnisse für Ackerflächen
- Verfügbarkeit der Modellparameter
- Maximale Anzahl an Inputdaten

5.3.1.1 Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen

Ziel dieser Arbeit ist es, potentielle N-Modelle für die Anwendung auf Ackerflächen in Österreich zu finden. Zudem sollte es über eine möglichst breite Anwendbarkeit verfügen. Einige Modelle, meist die sogenannten Crop Simulation Models (CSM), sind auf die Anwendung an einer Kulturart ausgelegt. Es muss jedoch möglich sein, zumindest die in Österreich meist verbreitetsten Ackerkulturen, nämlich Mais (23%), Weizen (21%) und Gerste (11%) (STATISTIK AUSTRIA 2015) zu simulieren. Hier wird auf eine weitere Differenzierung von Körnermais und Silomais, Weichweizen (Winterung und Sommerung) und Hartweizen (Winterung und Sommerung), sowie Wintergerste und Sommergerste, verzichtet.

5.3.1.2 Modellkomponenten sind verfügbar

In einer wissenschaftlichen Arbeit ist es wichtig, die genaueren Vorgänge und Berechnungsschritte eines Modells zu durchleuchten um sie bestmöglich verstehen zu können. Daher ist es nötig, dass die relevanten Modellkomponenten und deren mathematische Beschreibungen in der Literatur publiziert und verfügbar sind.

5.3.1.3 Aktualität

Da sich die meisten Modelle stetig weiterentwickeln bzw. durch neue Modelle ersetzt werden, ist eine weitere Grundanforderung, dass das Modell zum einen die aktuellste Version des Modells, bzw. der Modellreihe ist und zum anderen, dass das Modell noch immer gewartet und weiterentwickelt wird. Somit ist auch gewährleistet, dass es auf den aktuellen Computer-Betriebssystemen mit vertretbarem Aufwand implementiert werden kann.

5.3.1.4 Schlagbezug inkl. Düngermanagement

Die Stickstoffkreislaufmodelle sind entweder auf den Schlag oder den gesamten Betrieb bezogen. Um die Grundgesamtheit an verfügbaren Modellen zu verringern entschied sich SCHWEIGER (2016) dazu, die Systemgrenzen enger zu ziehen und nur schlagbezogene Modelle für eine weitere Analyse in Betracht zu ziehen, welche die

Düngeranwendung modellieren. Solch eine schlagbezogene bzw. auf ein Feldstück bezogene Auswertung macht vor allem bei Ackerkulturen, die sich in Zeitpunkt, Intensität, etc. der Bewirtschaftung auch innerhalb eines Betriebes stark von anderen Ackerkulturen unterscheiden, Sinn.

5.3.1.5 Validierung für Ackerflächen

Wie schon unter 4.2 beschrieben, ist die Modellvalidierung eine Methode zur Beurteilung der Modellunsicherheit. Am Ende dieses Prozesses steht eine explizite Aussage über das Verhalten bzw. die Gültigkeit des validierten Modells für eine bestimmte angenommene Ausgangssituation.

Es ist somit ein Mindestkriterium, dass verfügbare Validierungsdaten des Modells vorhanden sind. Dabei ist es in der Bewertung der Mindestkriterien noch nicht von Bedeutung, zu welchen Modellergebnissen Validierungsdaten vorliegen.

Bei den folgenden zwei Mindestkriterien (Verfügbarkeit der Modellparameter und Maximale Anzahl Inputdaten) ist es bei vielen Modellen mit einem für die Erstbeurteilung zu hohen Aufwand verbunden, um diese festzustellen. Daher werden sie nur dann zur Auswahl herangezogen, wenn sie bereits im ersten Durchgang der Modellbeurteilung bekannt sind.

5.3.1.6 Verfügbarkeit der Modellparameter

Ziel dieser Arbeit ist die Anwendung in Österreich. Somit ist es nötig, dass die vom Modell zur Berechnung benötigten Parameter verfügbar sind oder im Zuge fehlender Daten diese selbst zu bestimmen, bzw. eventuell vorhandene Defaultwerte zu adaptieren sind.

5.3.1.7 Maximale Anzahl an Inputdaten

SCHWEIGER (2016) beschränkte in seiner auf Grünland ausgelegten Arbeit die Anzahl der maximal benötigten Inputparameter auf 30. Dies begründete er damit, dass die Sachbilanz ohnehin schon der aufwendigste Teil der Ökobilanz darstellt und eine Begrenzung dazu führt, die Modellanwendung möglichst einfach zu halten.

Da es aber bei der Bewirtschaftung von Ackerkulturen in Gegensatz zu Grünland mehr Faktoren gibt, welche die Stickstoffverluste direkt beeinflussen, werden die Inputparameter für diese Arbeit quantitativ mit 50 festgelegt.

Eine genaue Abschätzung der benötigten Inputfaktoren ist oft erst nach genauer Betrachtung eines Modells möglich. Daher wird für eine möglichst zeiteffektive Gestaltung dieser Arbeit in solchen Fällen, in denen die Beurteilung dieses Mindestkriteriums sehr zeitintensiv ist, die Beurteilung erst in weiterer Folge bei der Bewertung der Qualitätskriterien vorgenommen, falls das entsprechende Modell alle restlichen Mindestkriterien erfüllt.

5.3.2 Qualitätskriterien

Im Anschluss an die Bewertung der Modelle mittels der Mindestkriterien werden die verbleibenden Modelle genauer betrachtet und anhand der im Rahmen dieser Arbeit definierten Qualitätskriterien einer weiteren, präziseren Beurteilung unterzogen. Diese Kriterien wurde zum Teil in einem Dialog mit dem Diplomarbeitsbetreuer, sowie in Anlehnung an SCHWEIGER (2016) erarbeitet.

Die Qualitätskriterien im Überblick:

- Vollständigkeit der Stickstoffdynamik
- Inputparameter
- Modelloutput
- Validierungsergebnisse

5.3.2.1 Vollständigkeit der Stickstoffdynamik

Der vollständige Stickstoffkreislauf setzt sich nach PATYK & REINHARDT (1997) aus der Stickstoffzufuhr (durch organischen Dünger, Wirtschaftsdünger, sowie Ernterückstände, biologische Stickstofffixierung, Mineraldünger und atmosphärischen Einträge) und dem Stickstoffentzug durch Pflanzen, sowie den Stickstoffflüssen aus den unter 4.1 beschriebenen Punkten Mineralisation, Nitrifikation, Denitrifikation, sowie der N-Auswaschung zusammen. Um ein Gesamtbild zu erhalten, ist es daher für die Bewertung von landwirtschaftlichen Prozessen von Bedeutung, dass ein Modell unter Berücksichtigung der wichtigsten Faktoren, den gesamten, landwirtschaftlich relevanten Stickstoffkreislauf beleuchtet.

5.3.2.2 Inputparameter

Falls die Anzahl der Inputparameter bereits in der Erstbeurteilung der Modelle anhand der Mindestkriterien beurteilt werden konnte, ist unter dieser Beurteilung der Inputparameter im Rahmen der qualitativen Bewertung folgendes zu verstehen.

Im Sinne der Zielesetzung einer möglichst einfachen Anwendbarkeit, ist neben einer definierten maximalen Anzahl auch die Qualität der Inputparameter von großer Bedeutung. Unter Qualität ist dabei nicht nur die Qualität im Sinne der Genauigkeit eines Faktors, sondern vielmehr die Qualität im Sinne der benötigten Form eines Faktors (z.B.: Minimal benötigte Regenmenge pro Tag, welche nötig ist, damit die Bodenoberfläche verkrustet) zu verstehen.

Die Entscheidungsgrundlage bezüglich der Eignung der Inputfaktoren liegt in dieser Arbeit daher darauf, welche Daten überhaupt zur Verfügung bzw. welche für die Modellanwendung fehlenden Daten durch Defaultwerte ersetzt werden können.

Eine Entscheidung für oder gegen ein Modell nur auf Basis der benötigten Inputfaktoren wird daher ausreichend begründet.

5.3.2.3 Modelloutput

Die wichtigsten Stickstoffemissionsquellen der Landwirtschaft sind NO_3^- , NH_3 und N_2O (BRENTROP et al. 2000). Daher sind diese Verbindungen jene, welche ein Modell als Outputdaten liefern muss, um für eine Agrar-LCA geeignet zu sein.

5.3.2.4 Validierungsergebnisse

Um die Performance von Stickstoffmodellen evaluieren zu können und untereinander vergleichbar zu machen, können verschiedenen Methoden verwendet werden.

Ein Zugang ist, die simulierten Werte mit gemessenen Werten visuell oder grafisch zu vergleichen. Die Probleme dieser Herangehensweise sind jedoch zum einen, dass die Differenz zwischen simulierten und gemessenen Werten nur schwer quantifiziert werden können und zum anderen, dass verschiedenen Modelle dabei nicht quantifizierbar verglichen werden können (ROELSMAN & HENDRIKS 2014).

Ein weiterer Zugang sind statistische Evaluierungsmethoden. Diese werden unter anderem in Moriasi et al. (2007) beschrieben.

SCHWEIGER (2016) verwendet zur Beurteilung der Qualität der statistischen Validierung ein festgelegtes Reihungs- und Bewertungsverfahren, welches von

CANNAVO et al. (2008) verwendet wurde. Dabei wird die Relevanz der statistischen Kennwerte gereiht (RMSE > MD > EF > RE) und die Modellperformance entweder mit schwach (-), mittelmäßig (+/-), gut (+) oder sehr gut (++) bewertet. Diese Vorgehensweise wird hier übernommen. Die Details sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Bewertungsschema statistischer Validierungsergebnisse (CANNAVO et al. 2008)

Statistischer Kennwert	-	+/-	+	++
MD/RMSE/RE (%)	>60%	30-60%	5-30%	<5%
r ² /EF	<0,5	0,5-0,7	0,7-0,95	>0,95

MD: Durchschnittliche Abweichung (mean difference)

RMSE: Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung (relative root mean square error)

RE: relative Fehler (relative Error)

r²: Korrelationskoeffizient (correlation coefficient)

EF: Modelleffizienz (model efficiency)

5.4 Modellreihung

Im Anschluss an die Bewertung der Qualitätskriterien, werden die bewerteten Modelle anhand der Ergebnisse gereiht. Ziel dieser Reihung ist es, die Bedeutung der einzelnen Parameter untereinander abzustufen und die Modelle anhand ihrer Ergebnisse bezogen auf die gewichteten Qualitätskriterien zu reihen. Dabei ist diese Gewichtung eine reine subjektive Bedeutung der Kriterien.

Diese Gewichtung wurde im Zuge dieser Arbeit wie in Tabelle 9 ersichtlich definiert.

Tabelle 9: Wertungsschema Ergebnisse der Qualitätskriterien

Qualitätskriterium	Erklärung	Punkte				
		6	4	2	1	0
Vollständigkeit der Stickstoffdynamik	Stickstoffdynamik vollständig			X		
	Stickstoffdynamik nicht vollständig					X
Inputparameter	≤ ~50 vom Standort benötigt, Alle notwendigen Daten sind verfügbar,	X				
	≤ ~50 vom Standort benötigt, Fehlende Daten können durch Defaultwerte ersetzt werden		X			
	>50 vom Standort benötigt; Keine Defaultwerte vorgegeben; Verfügbarkeit der Daten nicht gegeben					X
Modelloutput	Alle drei der geforderten Emissionswerte werden berechnet	X				
	Zwei der geforderten Emissionswerte werden berechnet		X			
	Einer der geforderten Emissionswerte wird berechnet					X
Validierungsergebnisse	Ergebnisse je Output	++,+		X		
		+/-			X	
		-				X
	Keine Validierungsergebnisse verfügbar					X

5.5 Modellvalidierung

Am Ende der Beschreibung und Beurteilung der Modelle anhand des Kriterienkataloges samt Reihung wurde versucht, die Finalmodelle noch am Beispiel von Messdaten zu N₂O-Emissionen eines Versuchsfeldstückes zu validieren.

Die noch unveröffentlichten Messdaten (pers. Kommunikation: KITZLER & HÖSCH 2016) für das Feldstück stammen aus einem Versuch der AGES (Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit) und dem BFS (Bundesforschungszentrum für Wald).

Die Versuchsbedingungen werden in der Folge vereinfacht wiedergegeben.

5.5.1 Angaben zum Standort des Lysimeterversuches Hirschstetten

Die Lysimeteranlage wurde im September 1995 in Hirschstetten in Betrieb genommen. Der Standort liegt im Nord-Osten Wiens und befindet sich klimatisch gesehen in einem Übergangsbereich zwischen dem westeuropäischen Klimaraum (milde Winter, feuchte und kühle Sommer) und dem osteuropäischen Klimaraum (kalte Winter und heiße Sommer).

In dieser Gegend ist mit Jahresdurchschnittstemperaturen von 9,5 °C und mit Jahresgesamtniederschlägen um 550-600 mm zu rechnen. Die Lysimeteranlage liegt auf einer Seehöhe von 160m. Die geographischen Koordinaten der Lysimeteranlage sind 16°28'47" östliche Länge und 48°15'11" nördliche Breite.

Die am häufigsten vertretenen Bodentypen sind Tschernosem > Feuchtschwarzerde > Auboden > Paratschernosem (AGES 2012).

Die Wetterstation erfasst folgende meteorologischen Parameter:

- Lufttemperatur in 2m Höhe
- Bodennahlufttemperatur in 5cm über dem Boden
- Relative Luftfeuchte in 2m Höhe
- Luftdruck
- Windgeschwindigkeit in 10m Höhe
- Niederschlagsmessung in 1m Höhe
- Niederschlagsmessung auf Bodenniveau
- Albedo-Strahlungsmessung von Lysimeter 1 („S“)
- Bodentemperatur in 10cm, 30cm, 60cm und 90 cm Bodentiefe

(AGES 2012).

Folgende Daten wurden vom Versuch von der AGES und dem BFW zur Verfügung gestellt (pers. Kommunikation: KITZLER & HÖSCH 2016):

In Tabelle 10 sind die Dünge-, Pflanzenschutz- und Pflanzenbaulichen Maßnahmen aus den Jahren 2011 bis 2012 aufgelistet. Diese sind unterteilt in drei Lysimeter (CS04, CS10 und CS16).

Tabelle 10: Versuch Hirschstetten – Pflanzenbauliche Maßnahmen

Datum	Massnahme	CS04	CS10	CS16
23.03.2011	Düngung - P (kg P ₂ O ₅ /ha)	0	0	0
23.03.2011	Düngung - K (kg K ₂ O/ha)	100	100	100
23.03.2011	Anbau Körnererbse Sorte JETSET (Kontrollnummer: A 0 K0721) - unbehandelt, 80 Korn/m ²	x	x	x
04.07.2011	Ernte - Körnererbse	x	x	x
07.07.2011	Umstechen der Lysimeter	x	x	x
07.07.2011	Anbau Zwischenfrucht - Senf	x	x	x
05.10.2011	"Ernte Senf" ohne Gewichtserhebung	x	x	x
10.10.2011	Umstechen der Lysimeter - Aufbringen des organischen Materials von Senf vor dem Umstechen!	x	x	x
11.10.2011	Düngung - P (kg P ₂ O ₅ /ha) - Triplesuperphosphat	0	0	0
11.10.2011	Düngung - K (kg K ₂ O/ha) - Kali 60	40	40	40
11.10.2011	Anbau Winterweizen Sorte: CAPO gebeizt; 350 Korn/m ²	x	x	x
08.03.2012	Düngung - 1. N-Gabe (kg N/ha) - NAC (Nitramoncal 27%)	25	25	25
30.03.2012	Herbizidanwendung durchgeführt Starane XL 0,75 lt/ha Express 25g/ha	x	x	x
12.04.2012	Düngung - 2. N-Gabe (kg N/ha) - NAC (Nitramoncal 27%)	30	30	30

16.05.2012	Düngung - 3. N-Gabe (kg N/ha) - NAC (Nitramoncal 27%)	35	35	35
05.07.2012	Ernte Winterweizen	x	x	x
21.09.2012	Umstechen der Lysimeter -	x	x	x
24.09.2012	Düngung - P (kg P ₂ O ₅ /ha) - Triplesuperphosphat	0	0	0
24.09.2012	Düngung - K (kg K ₂ O/ha) - Kali 60	40	40	40
24.09.2012	Anbau Wintergerste Sorte: KWS Meridian gebeizt (Rubin TT + Gaucho) 380 Korn/m ²	x	x	x

Die Wetterdaten wurden tagesbezogen zur Verfügung gestellt. Die für die Simulation relevanten Daten sind aufgrund der Größe nur unter den Inputparametern im Anhang (siehe Tabelle 50 unter 10.2.5) vollständig angeführt.

Zum Teil fehlen einzelne Werte, bzw. Daten ganzer Tage. Diese wurden für die Berechnung wie folgt ergänzt: Einzelne Fehlwerte wurden durch den Durchschnitt des Vor- und Folgetages ersetzt. Mehrere Fehlwerte in Folge wurden durch Monatsdurchschnittswerte, welche vom Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur bezogen wurden, ersetzt. Des Weiteren wurden vereinzelt die Lysimeter künstlich beregnet, da in diesen Zeiträumen kein Niederschlag fiel. Für die Simulation wurden daher diese Daten durch 0 ersetzt und die jeweiligen Mengen als künstliche Berechnung gewertet.

5.5.2 Emissionsmessdaten des Lysimeterversuches Hirschstetten

In Tabelle 11 sind die zur Verfügung gestellten Daten der N₂O-Emissionsmessungen dargestellt. NH₃- und NO₃⁻-Emissionsdaten sind noch nicht verfügbar.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass sich diese Daten auf eine Lysimeterfläche beziehen, die nicht mit Standard-Bodenbearbeitungsmaschinen bearbeitet werden konnte. Der Einfluss der Bearbeitung wird daher nicht durch die Daten reflektiert.

Tabelle 11: N₂O-Emissionsmessdaten des Testfeldstücks (n=3)

Datum	Mittelwert	Standardfehler	Datum	Mittelwert	Standardfehler
	$\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$			$\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$	
21.03.2011	10.4	2.4	13.03.2012	-10.7	1.8
12.05.2011	60.7	46.0	03.04.2012	11.8	11.2
27.05.2011	19.4	2.2	17.04.2012	12.0	1.6
16.06.2011	51.0	10.1	02.05.2012	10.3	8.3
30.06.2011	-18.4	24.8	15.05.2012	20.4	3.6
14.07.2011	27.8	14.0	30.05.2012	18.5	4.2
28.07.2011	20.9	10.6	13.06.2012	24.7	9.5
18.08.2011	34.9	25.4	29.06.2012	17.4	20.0
01.09.2011	-16.7	1.1	12.07.2012	11.4	4.0
15.09.2011	6.6	10.1	26.07.2012	26.8	11.6
27.09.2011	24.1	5.5	09.08.2012	11.8	2.7
13.10.2011	32.5	13.3	22.08.2012	3.7	12.6
20.10.2011	9.3	3.2	05.09.2012	6.9	4.1
16.11.2011	-0.7	7.1	04.10.2012	-16.5	22.4
13.12.2011	9.0	1.7	18.10.2012	5.4	12.1
19.01.2012	1.8	2.6	20.11.2012	-15.4	4.7
14.02.2012	6.7	8.5	11.12.2012	0.6	3.4

Die Meßdaten wurden mit den Modellergebnissen mit Hilfe eines einseitigen, paarweisen t-Tests auf Signifikanz ($\alpha = 0.05$) getestet. Da die gemessenen N₂O-Emissionen des Testfeldstückes 6 negative Werte enthielten (siehe Tabelle 20), wurden diese für die Berechnung durch 0 ersetzt.

6 Ergebnis und Diskussion

Die Ergebnisse werden nun gegliedert in die Teilziele (Erfassung und Beschreibung aktueller Modelle sowie Modellauswahl und Vergleich) (siehe 3 Zielsetzung) beschrieben.

Da der Kriterienkatalog bereits unter 5.3 beschrieben ist, wird an dieser Stelle nicht mehr näher darauf eingegangen.

6.1 Erfassung und Beschreibung aktueller Modelle

Im Zuge dieser Recherche stellte sich bald heraus, dass es eine große Vielfalt an Modellen gibt, welche sich in irgendeiner Art und Weise mit dem Stickstoffkreislauf im Ganzen bzw. mit Teilen davon beschäftigen. Zu viele Parameter beeinflussen die komplexen, biologischen, chemischen und physikalischen Vorgänge, um sie in einem allgemein gültigen Modell zusammen zu fassen. Wie unter 5 bereits erwähnt, wurde die Erfassung neuer Modelle in der Modellliste daher nach 29 Modellen beendet. Zu diesem Zeitpunkt verringerte sich zum einen die Häufigkeit, mit der neue Modelle gefunden wurden und zum anderen sind 29 Modelle im Rahmen dieser Arbeit noch ausreichend abzuarbeiten.

Daher ist hier zu erwähnen, dass es durchaus noch weitere Modelle gibt, welche ebenso die Kriterien dieser Arbeit erfüllen könnten.

Folgende Modelle wurden in diese Arbeit aufgenommen.

AGRAMMON	CANCY	DayCent	EXPERT N	NEMIS	SALCA NO3
AGROSIM	CENTURY	DNDC	HERMES	NLEAP	SIMWASER
ALFAM	CERES	DSSAT	LEACHM	NSIM	STICS
ANIMO	CropSyst	EPIC	MONICA	REPRO	STOTRASIM
APSIM	DAISY	EU-Rotate	N_ABLE	RZWQM	

Die Beschreibung der einzelnen Modelle erfolgte auf Basis der Allgemeinen Modellbeschreibung (siehe Tabelle 7 unter 5.2) und wurde dieser Arbeit im Anhang hinzugefügt (siehe 10.1).

6.2 Modellauswahl und -vergleich

Basierend auf der Bewertung der Mindestkriterien fand eine erste Modellauswahl statt (siehe 6.2.1).

Diese ausgewählten Modelle werden in weiterer Folge unter 6.2.2 ausführlicher, unter Betrachtung der Qualitätskriterien, beschrieben.

6.2.1 Modellauswahl nach Bewertung der Mindestkriterien

Nach der Modellbeschreibung konnten zum Teil nicht alle Mindestkriterien beurteilt werden. Dies lag unter anderem daran, dass ein Testlauf des Modells notwendig gewesen wäre um die Anzahl der Inputparameter zu erhalten, wenn dies nicht aus der Beschreibung, Literatur, etc. hervorging oder im Allgemeinen zu wenig beschreibende Literatur über das Modell verfügbar ist, um andere Kriterien zu bewerten. Die Implementierung aller gefundenen Modelle hätte allerdings den Rahmen der vorliegenden Arbeit gesprengt.

In jenen Fällen, in denen für eine vollständige Bewertung nicht ausreichend Literatur zur Verfügung stand, schied das Modell aus (z.B.: 10.1.18 *LEACHM*). Konnte aber nur über die Anzahl der Inputparameter keine Aussage getroffen werden, kam das Modell doch in die nähere Beurteilung, falls die restlichen Mindestkriterien erfüllt wurden (z.B.: 10.1.9 *CropSyst*). Die Anzahl der Parameter kann daher nur bedingt als „Mindestkriterium“ bezeichnet werden.

Im Allgemeinen endete die Beurteilung der Mindestkriterien, sobald eines nicht erfüllt wurde. So wurde z.B. wenn das Modell nicht öffentlich verfügbar ist, keine weitere Beurteilung der restlichen Kriterien vorgenommen (z.B.: 10.1.24 *REPRO*).

Die modelbezogenen Ergebnisse der Beurteilung der definierten Mindestkriterien sind in Tabelle 12 abgebildet.

Die Ergebnisse je Mindestkriterium sind in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Der hohe Anteil an ‚Nicht beurteilt‘ bei den Kriterien Verfügbarkeit und Maximale Anzahl der Parameter ist dabei darauf zurückzuführen, dass diese Punkte meist nur nach genauerer Betrachtung des Modells zu beurteilen waren und in den Fällen, in denen bereits ein anderes Kriterium nicht erfüllt wurde, diese Kriterien nicht mehr beurteilt wurden.

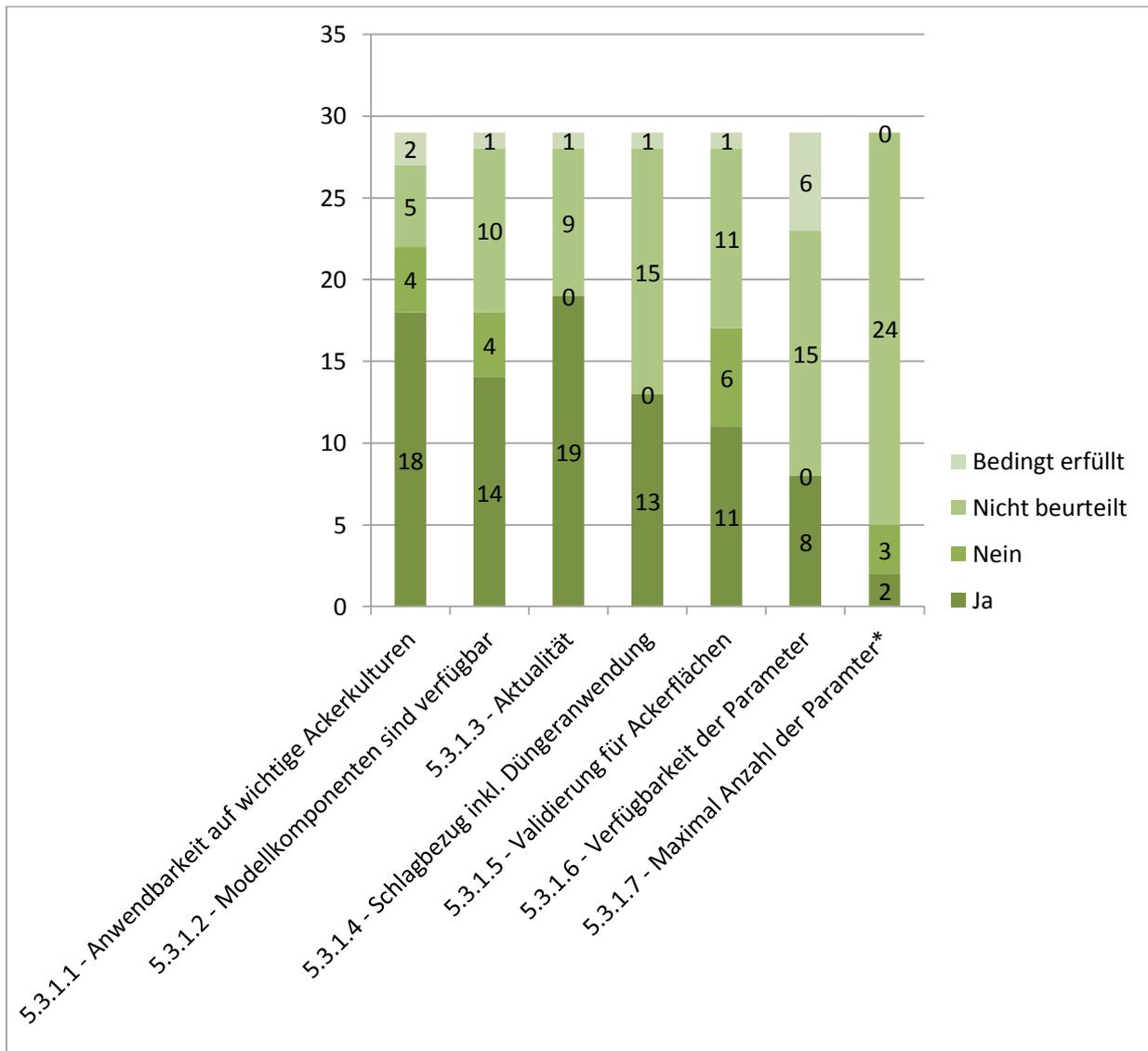


Abbildung 4: Diagramm der Ergebnisse je Mindestkriterium

* Jene Modelle, bei denen die Parameteranzahl nach der Bewertung der Mindestkriterien noch nicht beurteilt werden konnte, wurden trotzdem zu einer näheren Betrachtung der Qualitätsbewertung herangezogen.

Tabelle 12: Modelergebnisse der Mindestkriterien

Modell		5.3.1.1	5.3.1.2	5.3.1.3	5.3.1.4	5.3.1.5	5.3.1.6	5.3.1.7	Mindestkriterien erfüllt
		Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen	Modell-komponenten sind verfügbar	Aktualität	Schlagbezug inkl. Düngeranwendung	Validierung für Ackerflächen	Verfügbarkeit der Modellparameter	Maximale Anzahl an Inputfaktoren	
14.1.1	<i>AGRAMMON</i>	Nein	-	Ja (2013)	-	Nein	-	-	Nein
14.1.2	<i>AGROSIM</i>	Nein	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.3	<i>ALFAM</i>	Ja	Ja	Ja (2002)	~	Ja	Ja	Ja	Ja*
14.1.4	<i>ANIMO</i>	Ja	Ja	Ja (2005)	Ja	Ja	~	Nein	Nein
14.1.5	<i>APSIM</i>	Ja	Ja	Ja (2016)	Ja	Ja	Ja	-	Ja
14.1.6	<i>CANDY</i>	Ja	Ja	Ja (2015)	Ja	Nein	Ja	-	Nein
14.1.7	<i>CENTURY</i>	Ja	Ja	Ja (2006)	Ja	~	~	-	Ja*
14.1.8	<i>CERES</i>	Ja	Ja	Ja (2015)	Ja	Ja	Ja	-	Ja*
14.1.9	<i>CropSyst</i>	Ja	Ja	~	Ja	Ja	Ja	-	Ja
14.1.10	<i>DAISY</i>	Ja	Ja	Ja (2016)	Ja	Ja	~	-	Ja*
14.1.11	<i>DayCent</i>	Ja	Nein	Ja	-	Ja	-	-	Nein
14.1.12	<i>DNDC</i>	Ja	Ja	Ja (2013)	Ja	Ja	~	Nein	Nein
14.1.13	<i>DSSAT</i>	-	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.14	<i>EPIC</i>	Ja	Ja	Ja (2014)	Ja	Ja	~	Nein	Nein
14.1.15	<i>EU-ROTATE</i>	Nein	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.16	<i>EXPERT N</i>	~	~	-	-	-	-	-	Nein
14.1.17	<i>HERMES</i>	Ja	Ja	~	Ja	Nein	-	-	Nein
14.1.18	<i>LEACHM</i>	-	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.19	<i>MONICA</i>	Ja	Ja	Ja (2012)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

14.1.20	<i>N_ABLE</i>	-	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.21	<i>NEMIS</i>	-	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.22	<i>NLEAP</i>	Ja	-	Ja (2010)	-	Nein	-	-	Nein
14.1.23	<i>NSIM</i>	~	-	-	-	-	-	-	Nein
14.1.24	<i>REPRO</i>	-	Nein	-	-	-	-	-	Nein
14.1.25	<i>RZWQM</i>	Nein	-	Ja (2013)	-	Nein	-	-	Nein
14.1.26	<i>SALCA NO3</i>	Ja	Ja	Ja (2014)	Ja	Nein	Ja	-	Nein
14.1.27	<i>SIMWASER</i>	Ja	Nein	Ja	-	-	Ja	-	Nein
14.1.28	<i>STICS</i>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-	Ja
14.1.29	<i>STOTRASIM</i>	Ja	Nein	Ja	-	-	Ja	-	Nein

Ja: Erfüllt „-“: Nicht beurteilt
 Nein: Nicht erfüllt „~“: Bedingt erfüllt

*: Trotz erfüllter Mindestkriterien keine qualitative Bewertung, da bereits die Erstbeurteilung darauf schließen ließ, dass eine praxisorientierte Anwendung im Rahmen von landwirtschaftlichen LCA-Studien nur bedingt möglich ist (z.B. aufgrund der Komplexität des Modells)

Von den 29 Modellen erfüllten folgende 9 Modelle die beurteilbaren Mindestkriterien:

✓ *ALFAM* ✓ *CENTURY* ✓ *CropSyst* ✓ *MONICA*
 ✓ *APSIM* ✓ *CERES* ✓ *DAISY* ✓ *STICS*

Bei der Beurteilung der Mindestkriterien zeichnete sich bei einigen Modelle bereits ab, dass diese zwar die Mindest-, jedoch nicht die Qualitätskriterien erfüllen.

Gründe dafür waren zum einen die fehlende Vollständigkeit der N-Dynamik (*ALFAM* und *CERES*), das heißt nicht alle wichtigen N-Emissionen modelliert werden und zum anderen die Komplexität der Modelle, welche bereits bei der Erstbeurteilung darauf schließen ließ, dass eine praxisorientierte Anwendung im Rahmen von landwirtschaftlichen LCA-Studien nur bedingt möglich ist (*APSIM*, *CENTURY* und *DAISY*).

Diese Modelle wurden somit bei der weiteren Beurteilung nicht berücksichtigt.

6.2.2 Modellauswahl nach Bewertung der Qualitätskriterien

Die verbleibenden drei Modelle werden nun im Folgenden detaillierter beschrieben und anhand der Qualitätskriterien beurteilt.

6.2.2.1 *CropSyst*

Die wichtigsten Fakten zu *CropSyst* sind in Tabelle 13 kurz zusammengefasst, bevor das Modell im Anschluss ausführlicher beschrieben wird.

Tabelle 13: Modellcharakteristika *CropSyst*

Name:	<i>CropSyst - Cropping Systems Simulation Model</i>
Entwicklung:	<i>Washington State University</i> von STÖCKLE et al. (1994)
Aktuelle Version und Betreuung:	Version 4.19 aus 2014
Inputdaten:	Vom Standort benötigt: <50
Relevante Outputdaten:	NH ₃ , N-ausgewaschen (kg N ha ⁻¹); gasförmige anorganische und organische N-Verluste

Model Charakteristika:	<i>CropSyst</i> ist in erster Linie ein crop growth simulation model, welches unter anderem dafür entwickelt wurde, um den Effekt von Pflanzenbaumaßnahmen auf die Produktivität der Kultur und die Umwelt zu untersuchen.
Anwendung:	<i>CropSyst</i> ist auf der Modellhomepage als Download frei verfügbar.
Homepage:	http://modeling.bsyse.wsu.edu/CS_Suite/CropSyst/index.html

CropSyst (Cropping Systems Simulation Model) wurde erstmals von STÖCKLE et al. (1994) beschrieben und an der *Washington State University* entwickelt.

Die Motivation lag vor allem darin, ein analytisches Hilfsmittel für die Forschung an den Effekten von Klima, Boden und Management auf die Systemproduktivität und die Umwelt zu entwickeln, dies in eine möglichst nutzerfreundliche Oberfläche zu integrieren und das Modell mit einer GIS Software sowie einem Wettergenerator zu verbinden (STÖCKLE et al. 2003).

In der berechneten Stickstoffbilanz des Modells werden sowohl die Auswaschungsverluste (PERALTA & STOCKLE 2001) als auch die Verluste durch Verdampfung (STÖCKLE & NELSON) berücksichtigt.

Aus der Beurteilung der Outputdaten des aktuellen Benutzerhandbuches geht jedoch hervor dass die N-Emissionen nicht genau definiert sind.

So werden im Modul ‚soil nitrogen‘ folgende Parameter als täglicher Output gegeben: ‚N_leached‘ und ‚NH3_volatilization‘. Im Modul ‚nitrogen management‘ werden die ‚N_organic_gaseous_loss‘ und ‚N_inorganic_gaseous_loss‘ als täglicher Output gegeben. Eine Differenzierung, um welche N-Formen es sich dabei bei den Ergebnissen aus ‚N_leached‘ und ‚N_organic_gaseous_loss‘ und ‚N_inorganic_gaseous_loss‘ handelt ist daher auf Basis der vorhandenen Literatur nicht möglich.

CropSyst wurde auf Mais, Weizen Gerste, Sojabohne, Sorghum und Lupinie im Westen der USA, Südfrankreich, Nord- und Süditalien Nordsyrien, Nordspanien und Westaustralien mit guten Resultaten angewendet und validiert (STOCKLE 2014). Es gibt somit keine relevanten regionalen Einschränkungen.

Bezüglich der Kulturen bietet *CropSyst* für die bekanntesten Kulturen voreingestellte Parameter. Diese können jedoch für Berechnung von anderen Kulturen geändert werden (STOCKLE 2014).

Es ist ein dynamisches, vielfach validiertes Modell. Die Validierungsdaten beziehen sich jedoch fast ausschließlich auf die Ernteerträge, bzw. auf die zu erwartenden Inhaltsstoffe.

Eine Validierung der geforderten N-Emissionen ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht bekannt.

Beim Versuch eines Probelaufes der Anwendung kam es nach der erfolgreichen Installation zu Fehlern beim Start der Software, welche sich auch nach einer intensiven Fehlersuche nicht beheben ließen.

Es kann daher keine Aussage über die praktikable Anwendbarkeit der Modellsoftware getroffen werden.

In Tabelle 14 werden nun die einzelnen Qualitätskriterien bewertet

Tabelle 14: Bewertung der Qualitätskriterien *CropSyst*

Vollständigkeit der Stickstoffdynamik:	✓	<i>CropSyst</i> berücksichtigt alle landwirtschaftlich relevanten Stickstoffflüsse.
Inputparameter:	✓	Vom Standort werden von <i>CropSyst</i> <50 Parameter benötigt. Diese beschränken sich auf die wichtigsten Klima- und Bodendaten und können bei Bedarf auch angenommen werden. Sie entsprechen daher den gesetzten Qualitätskriterien, da es sich um nicht zu komplexe, verfügbare Daten handelt.
Modelloutput:	~	Die Outputparameter werden im Benutzerhandbuch nur kurz beschrieben. Daraus geht jedoch hervor, dass die jeweiligen N-Formen nicht näher definiert sind. Berechnet werden vom Modell sowohl die gasförmigen Verluste, wie auch die Verluste durch Auswaschung. Da die Zielsetzung des Modell, laut Modellbeschreibung, darin liegt, die Auswirkungen der verschiedenen Bewirtschaftungsarten auf den Ertrag und die Umwelt zu analysieren, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Auswaschungsverlusten um NO_3^- handelt und bei den gasförmigen Verlusten N_2O berücksichtigt wird. Da dies aber aus der Literatur nicht genau hervorgeht, kann dieser Punkt nur bedingt positiv bewertet werden.

Validierungsergebnisse:	-	Die Ertragsschätzungen des Modells wurden auf die verschiedensten Kulturen und in unterschiedlichen Ländern validiert. Jedoch stehen zum aktuellen Zeitpunkt keine Validierungsergebnisse bezüglich der N-Emissionen zur Verfügung.
-------------------------	---	---

CropSyst scheidet somit aufgrund der fehlenden Validierungsdaten für die N-Emissionen für diese Arbeit aus. Des Weiteren ist das Kriterium des Modelloutputs nicht vollständig geklärt.

6.2.2.2 **MONICA**

Die wichtigsten Fakten zu *MONICA* sind in Tabelle 15 kurz zusammengefasst, bevor das Modell im Anschluss ausführlicher beschrieben wird.

Tabelle 15: Modellcharakteristika *MONICA*

Name:	<i>MONICA – Das Modell für die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik in Agrarökosystemen (MOdel for Nitrogen and CARbon dynamics)</i>
Entwicklung:	Weiterentwicklung des Modell <i>HERMES</i> am <i>Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.</i>
Aktuelle Version und Betreuung:	Version v1.2 aus 2013 wird betreut und zur Verfügung gestellt vom <i>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.</i>
Inputdaten:	Vom Standort benötigt: <50
Relevante Outputdaten:	N-Auswaschung (kg N ha^{-1}); N_2O - und NH_3 -Emissionen aktuell noch nicht implementiert
Model Charakteristika:	<i>MONICA</i> ist ein dynamisches, prozess-orientiertes Simulationsmodell, das den Transport und die biochemische Umsetzung von Kohlenstoff, Stickstoff und Wasser in Agrarökosystemen beschreibt.

Anwendung:	<p><i>MONICA</i> ist auf der Modellhomepage als Download frei verfügbar. Hier werden auch detaillierte Beschreibungen zum theoretischen Hintergrund, eine laufend aktualisierte Liste der Publikationen sowie ein Benutzerhandbuch zur Verfügung gestellt.</p> <p>Die Anwendung lief beim Probelauf nur mit der Beispiel-,SOIL.txt' Datei. Abgesehen von diesem Fehler schien die Bedienung der Modellsoftware sehr einfach.</p>
Homepage:	http://monica.agrosystem-models.com/

MONICA (MOdel for Nitrogen and CARbon dynamic) ist eine Weiterentwicklung des Modell *HERMES* (siehe 10.1.17) und wurde ebenso am *Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.* entwickelt.

Es erweitert *HERMES* um den Kohlenstoffkreislauf im Boden und der Pflanze (NENDEL et al. 2011). Dabei wurde der simple Algorithmus zur Berechnung der Stickstoffmineralisation aus organischer Substanz durch den umfangreichen Ansatz des dänischen Modells *DAISY* (siehe 10.1.10) ersetzt.

Bei näherer Betrachtung der Outputdaten stellt sich heraus, dass die NH_3 - und N_2O -Emissionen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht implementiert sind. Laut persönlicher Auskunft von NENDEL (2016) sollte diese Outputdaten jedoch im Jahr 2017 getestet verfügbar sein.

Validierungsdaten zu europäischen Bedingungen sind vorhanden. Jedoch werden in diesen meist nur die ertragsrelevanten Ergebnisse validiert (z.B.: NENDEL et al. 2011). Validierungsergebnisse zu den N-Emissionen (im diesem Fall von den N-Auswaschungen) sind zum aktuellen Zeitpunkt nicht bekannt.

Das *Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.* stellt das Modell sowie die Berechnungsgrundlagen als Download frei zur Verfügung (NENDEL 2012).

Beim Versuch eines Probelaufes der Anwendung stellte sich heraus, dass das Modell aktuell nur mit der Beispiel-,SOIL.txt' Datei funktionierte. Trotz Fehlersuche ließ sich dieser Fehler nicht beheben. Die Anwendung ist jedoch sehr einfach und vor allem aufgrund der wenigen notwendigen Inputparameter, welche über Inputfiles nach einem definierten Schema der Software zur Verfügung gestellt werden, sehr praktikabel.

In Tabelle 16 werden nun die einzelnen Qualitätskriterien bewertet.

Tabelle 16: Bewertung der Qualitätskriterien *MONICA*

Vollständigkeit der Stickstoffdynamik:	✓	<i>MONICA</i> berücksichtigt alle landwirtschaftlich relevanten Stickstoffflüsse.
Inputparameter:	✓	Vom Standort werden von <i>MONICA</i> <50 Parameter benötigt. Diese beschränken sich auf die wichtigsten Klima- und Bodendaten und können bei Bedarf auch angenommen werden. Sie entsprechen daher den gesetzten Qualitätskriterien, da es sich um nicht zu komplexe, verfügbare Daten handelt.
Modelloutput:	-	In der aktuell vorliegenden Version von <i>MONICA</i> werden nur die N-Auswaschungen errechnet. Eine Implementierung der vorgesehenen NH ₃ - und N ₂ O-Emissionen ist für das Jahr 2017 geplant.
Validierungsergebnisse:	-	Validierungsergebnisse bezüglich der N-Auswaschungen sind zum aktuellen Zeitpunkt nicht verfügbar. Diesbezügliche Ergebnisse gibt es nur indirekt über Boden-Nitratverläufe (NENDEL 2016)

Da zum aktuellen Zeitpunkt *MONICA* noch keine NH₃- und N₂O-Emissionen berechnet und zu den N-Auswaschungsverlusten keine Validierungsdaten vorhanden sind, scheidet das Modell gegenwärtig für die Anwendung in einer Agrar-LCA aus.

6.2.2.3 *STICS*

Die wichtigsten Fakten zu *STICS* sind in Tabelle 17 kurz zusammengefasst, bevor das Modell im Anschluss ausführlicher beschrieben wird.

Tabelle 17: Modellcharakteristika *STICS*

Name:	<i>STICS - Simulateur multIdisciplinaire pour le Cultures Standard</i>
Entwicklung:	1996 am <i>French National Institute for Agricultural Research (INRA)</i>
Aktuelle Version und Betreuung:	Aktuelle Version <i>JavaSTICS 1.31 / STICS 8.41</i> aus 2008

Inputdaten:	~50 vom Standort benötigte Inputparameter. Dabei besteht die Möglichkeit bei Verfügbarkeit von weiteren Daten eine Vielzahl davon dem Modell als Input zu geben. Für fast alle Werte welche für eine Simulation benötigt werden, bietet <i>STICS</i> Tabellen mit Schätzwerten oder empfohlenen Defaultwerten an.
Relevante Outputdaten:	NO ₃ Auswaschung (kg N ha ⁻¹ d ⁻¹); Vom Boden emittiertes N ₂ O (kg N ha ⁻¹ d ⁻¹); NH ₃ Verluste (µg m ⁻² d ⁻¹)
Model Charakteristika:	<i>STICS</i> ist ein dynamisches deterministisches Modell, welches auf verschiedenen Kulturen angewendet werden kann.
Anwendung:	Das Modell ist als Download auf der Homepage des Modells frei verfügbar. Es wird dabei laufend betreut und aktualisiert. Mit Hilfe des Benutzerhandbuches ist eine Simulation relativ praktikabel möglich.
Homepage:	http://www6.paca.inra.fr/stics_eng/

STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour le Cultures Standard) wurde 1996 in Frankreich am *French National Institute for Agricultural Research (INRA)* entwickelt (BRISSON et al. 2003).

Das Modell simuliert das Boden-Pflanzen System über einen oder mehrere Kulturzyklen. Dabei werden sowohl landwirtschaftliche Variablen (z.B.: Ertrag), als auch Umweltvariablen (z.B.: Wasser- und Stickstoffverluste) berechnet (BRISSON et al. 2003). *STICS* ist sowohl auf Grünland als auch auf einer Vielzahl an Ackerkulturen anwendbar (BERTUZZI 2014).

Es ist ein dynamisches Modell und wurde bereits in Österreich und Tschechien mit Erfolg auf Acker und Grünland getestet (ŽALUD et al. 2006).

Bezüglich der Validierung der Nitratauswaschungen in das Grundwasser gibt es verschiedenen Studien. JÉGO et al. (2008) untersucht die Nitratauswaschung unter Kartoffeln und Zuckerrüben. Dabei kommt die Studie auf ein RMSE Ergebnis von 12% - 40%. In der Studie von SCHNEBELEN et al. (2004) ist das Ergebnis mit einem RMSE von 44% - 46% ähnlich.

Nach dem Bewertungsschema der Validierungsergebnisse (siehe 5.3.2.4) ist dies mit +/- zu werten, da die Ergebnisse im Schnitt zwischen 30 und 60% liegen. Für die N₂O- und NH₃-Emissionen sind keine Validierungsergebnisse bekannt.

Der Probelauf der Anwendung funktionierte. Die Modellsoftware ist einfach in der Anwendung und die Modellparameter werden (außer den Wetterdaten) über eine Oberfläche eingegeben bzw. können dort verändert werden.

In Tabelle 18 werden nun die einzelnen Qualitätskriterien bewertet.

Tabelle 18: Bewertung der Qualitätskriterien *STICS*

Vollständigkeit der Stickstoffdynamik:	✓	<i>STICS</i> berücksichtigt alle landwirtschaftlich relevanten Stickstoffflüsse.
Inputparameter:	✓	<i>STICS</i> kann eine Vielzahl an Inputparametern verarbeiten. Die meisten davon können jedoch durch Defaultwerte ersetzt werden, bzw. bietet <i>STICS</i> im Anhang seines Handbuches Tabellen um fehlende Werte abschätzen zu können.
Modelloutput:	✓	Alle notwendigen Output Parameter werden berechnet. NO ₃ Auswaschung (kg N ha ⁻¹ d ⁻¹), Vom Boden emittiertes N ₂ O (kg N ha ⁻¹ d ⁻¹) und NH ₃ Verluste (µg N m ⁻² d ⁻¹)
Validierungsergebnisse:	~	Zum aktuellen Zeitpunkt stehen nur Validierungsdaten für die Nitratauswaschungen zur Verfügung. Die Validierungsergebnisse ergeben gemäß 5.3.2.4 eine Bewertung des Modells von +/-

6.2.2.4 Zusammenfassung der Bewertung der Qualitätskriterien

Betrachtet man die Ergebnisse der drei Modelle, erfüllt keines alle Qualitätskriterien vollständig. Wobei das Kriterium der Validierungsergebnisse nur bei *STICS* teilweise erfüllt wurde. Bei *CropSyst* und *MONICA* waren keine Validierungsergebnisse für N-Flüsse verfügbar. Hier ist noch einmal zu erwähnen, dass im Zuge der Bewertung der Mindestkriterien nur die Verfügbarkeit von Validierungsdaten des Modells geprüft wurde. Nicht zu welchen Modellergebnissen es Validierungsdaten vorhanden sind. Die Kriterien Vollständigkeit der Stickstoffdynamik, sowie Inputparameter wiederum wurde von allen erfüllt.

Eine Übersicht darüber, wieviel Modelle die einzelnen Qualitätskriterien erfüllt, nicht erfüllt oder unvollständig erfüllt haben ist in Abbildung 5 dargestellt.

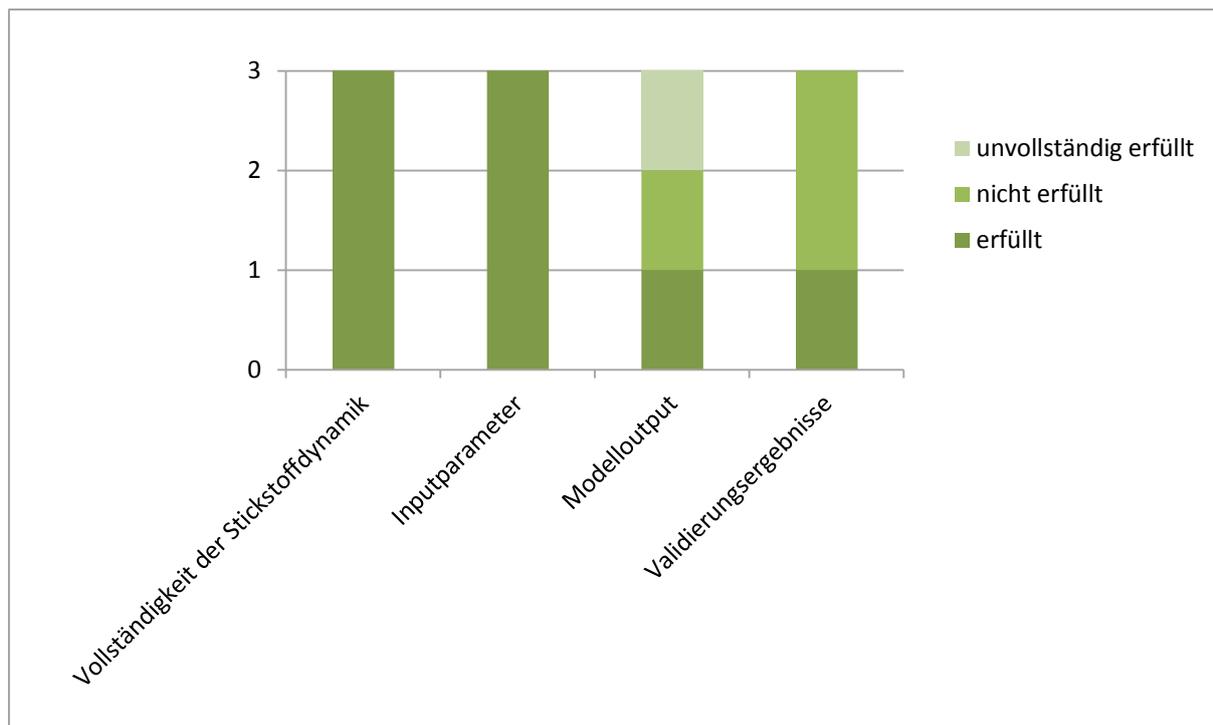


Abbildung 5: Modellergebnisse je Qualitätskriterien

6.2.3 Modellvergleich auf Basis der Ergebnisse der Qualitätskriterien

In der Tabelle 19 werden nun die erreichten Punkte der drei Modelle, welche anhand der Qualitätskriterien beurteilt wurden dargestellt.

Dabei ist ersichtlich, dass *MONICA* vor allem aufgrund der noch nicht implementierten N_2O - und NH_3 -Emissionen nur acht Punkte erreicht. Der eine Punkt Differenz zwischen *STICS* und *CropSyst* ist darin begründet, dass für *STICS* zumindest für eine Emissionsart Validierungsdaten zur Verfügung stehen, welche durchschnittlich bewertet werden können.

Tabelle 19: Modellreihung auf Basis der Ergebnisse der Qualitätskriterien

	Punkte		
	<i>CropSyst</i>	<i>MONICA</i>	<i>STICS</i>
Vollständigkeit der Stickstoffdynamik	2	2	2
Inputparameter	4	6	4
Modelloutput	6	0	6
Validierungsdaten	0	0	1
Summe:	12	8	14

6.3 Versuch einer Validierung des Modells *STICS*

Da aufgrund der Ergebnisse der Bewertung der Qualitätskriterien kein Modell alle Kriterien vollständig erfüllt, wird nun das Modell mit dem, nach der Modellreihung besten Ergebnis, anhand des Testfeldstückes versucht zu validieren.

Dies ist mit 14 Punkten *STICS*.

Die einzelnen Schritte werden unter 6.3.1 beschrieben. Die verschiedenen Inputfiles werden im Anhang (10.2) angeführt.

6.3.1 Allgemeines und Dateneingabe der Simulation

Für die Simulation wurde die in Abbildung 6 angeführte Version der Modellsoftware von der Modellhomepage (http://www6.paca.inra.fr/stics_eng/) nach erfolgter Registrierung heruntergeladen und gemäß dem Handbuch (INRA 2014) verwendet.

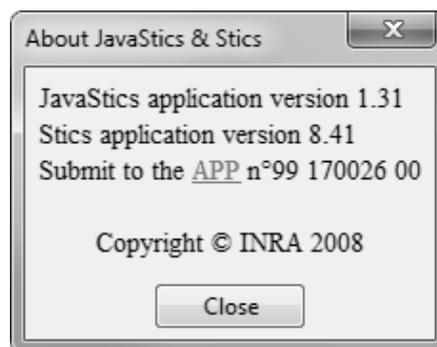


Abbildung 6: Versionsnummer *STICS*

Im nächsten Schritt müssen die Global parameters und die Local parameters definiert werden.

Unter den Global parameters wird bei Plant and genotype die Kulturdatei, in diesem Fall ‚wheat_plt.xml‘, ausgewählt und die einzelnen Parameter bei Bedarf geändert.

In den General parameters werden diverse Einstellungen zur Simulation festgelegt.

Bei beiden Punkten wurden die Voreinstellungen des Modells so belassen und keine Änderungen vorgenommen. Die einzelnen Werte können im Anhang unter 10.2.1 eingesehen werden.

Im nächsten Schritt folgen die Local parameters, welche unterteilt sind in Initializations, Soils, Crop management, Climate.

Diese werden mit den vom Testfeldstück verfügbaren Daten befüllt. Fehlende Daten, werden, soweit diese möglich ist, entweder mit den Voreinstellungen belassen, bzw. gemäß den Anpassungsvorschlägen aus dem *STICS* Handbuch eingegeben.

Die fehlenden Daten der Wetterdatei (einzelne Tage, Bereich der Datenbankumstellung, sowie die Globale Strahlung) wurden anhand der öffentlich verfügbaren Daten des *Instituts für Meteorologie der Universität für Bodenkultur* vervollständigt. Dabei wurde bei einzelnen Tagen der Schnitt aus dem Vor- und Folgetag berechnet, bei mehreren fehlenden Daten hintereinander die durchschnittlichen Monatswerte herangezogen. Die Tage mit künstlicher Berechnung aufgrund des fehlenden natürlichen Niederschlages wurden auf null mm geändert und dafür die Daten über die Inputparameter der Berechnung in das Modell gespielt.

6.3.2 Simulationsergebnisse

STICS berechnet eine Vielzahl an verschiedensten Output-Parametern. Für diese Arbeit werden folgende verwendet:

- **em_N2O:** Daily amount of N2O-N emitted from Soil
Einheit: kg N ha⁻¹ d⁻¹
- **FsNH3:** Daily amount of NH3-N emitted from soil by volatilisation
Einheit: µg m⁻² d⁻¹
- **lessiv:** Daily amount of NO3-N leached at the base of the soil profile
Einheit: kg N ha⁻¹ d⁻¹

Die Ergebnisse können graphisch dargestellt werden (siehe Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9) und werden in einer STI- Datei ausgegeben.

Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang unter 10.3 angeführt.

Bei der graphischen Darstellung ist die Skalierung des Diagramms von der Modellsoftware vorgegeben und kann nicht angepasst werden. Die Übersicht der Ergebnisse ist daher nicht optimal.

In Abbildung 7 ist das Diagramm der N₂O-Emissionen abgebildet. Die rote Linie zeigt hier die Emissionen in kg N ha⁻¹ d⁻¹ des Berechnungszeitraumes vom 01.01.2011 bis 31.12.2012.

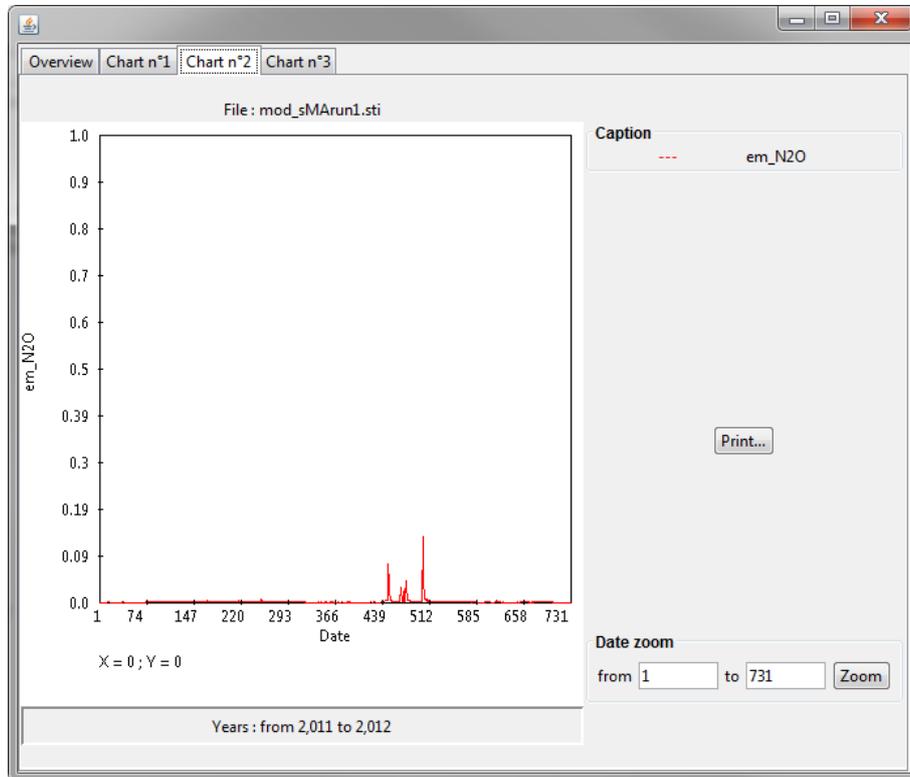


Abbildung 7: STICS - Ergebnis Diagramm: em_N2O

In Abbildung 8 ist das Diagramm der NH₃-Emissionen abgebildet. Die rote Linie zeigt hier die Emissionen in $\mu\text{g N m}^{-2} \text{d}^{-1}$ des Berechnungszeitraumes vom 01.01.2011 bis 31.12.2012.

Wie im Anhang unter 10.3 in Tabelle 51 ersichtlich, berechnet STICS die NH₃-Emissionen über den gesamten Zeitraum hin mit null. Aufgrund fehlender NH₃-Messwerte des Feldstückes kann dieses Modellergebnis nicht validiert werden.

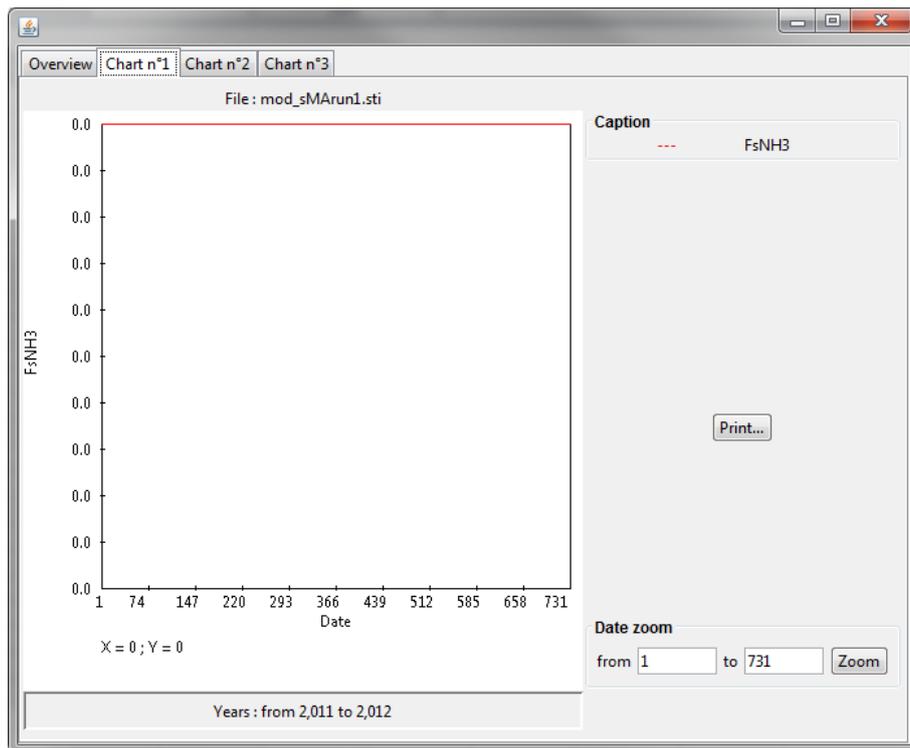


Abbildung 8: STICS - Ergebnis Diagramm: FsNH3

In Abbildung 9 ist das Diagramm der NO₃-Emissionen abgebildet. Die rote Linie zeigt hier die Emissionen in kg N ha⁻¹ d⁻¹ des Berechnungszeitraumes vom 01.01.2011 bis 31.12.2012.

Auffällig ist hier der hohe einzelne Ausschlag zwischen den Tagen 366 und 439. Wie aus Tabelle 51 unter 10.3 hervor geht, gibt es nur zwei Tage (21.01.2012 und 24.01.2012) an denen es laut dem Modell zu NO₃-Emissionen kommt. Aufgrund fehlender NO₃-Messwerte des Feldstückes kann auch dieses Modellergebnis nicht validiert werden.

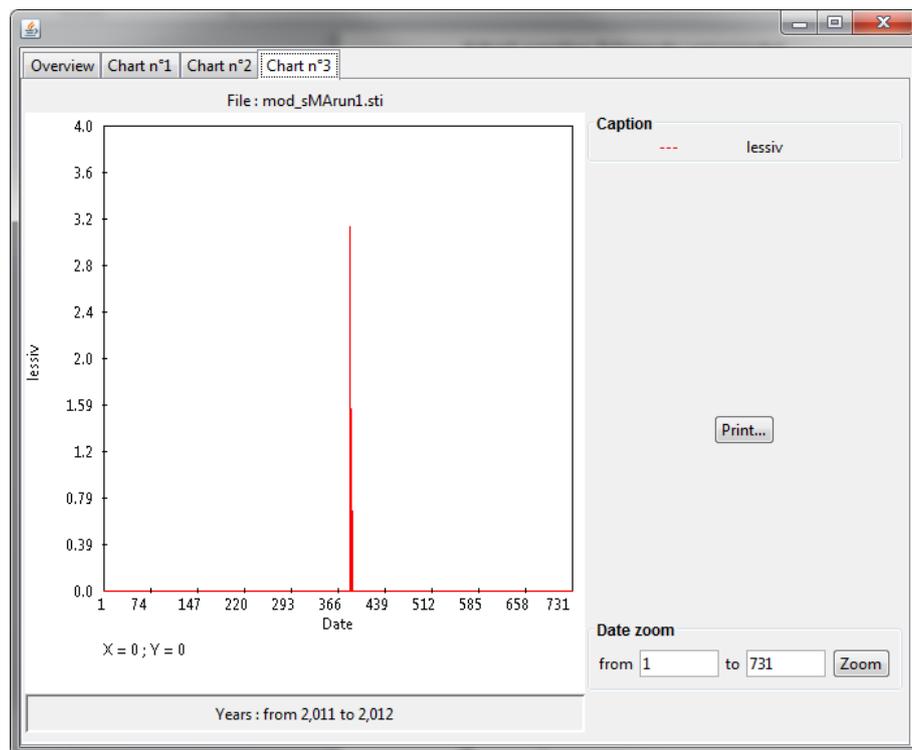


Abbildung 9: STICS - Ergebnis Diagramm: lessiv

In Tabelle 20 werden nun die Modellergebnisse der N₂O-Emissionen jener Tage, für welche es auch ein Messergebnis gibt, diesen gegenüber gestellt.

Dabei wurde zur besseren Übersicht das Modellergebnis, welches in kg N ha⁻¹ d⁻¹ angegeben ist, in die Einheit der verfügbaren Messergebnisse, µg N m⁻² h⁻¹, umgerechnet.

Tabelle 20: STICS - Vergleich der N₂O Modellwerte mit den N₂O Messwerten (n=3)

Datum	Ergebnis STICS	Messwerte	
	em_N2O	N ₂ O µg N m ⁻² h ⁻¹	
	µg N m ⁻² h ⁻¹	MW	SE
21.03.2011	0.6667	10.4357	2.4
12.05.2011	2.5417	60.6935	46.0
27.05.2011	3.2083	19.3663	2.2
16.06.2011	4.6250	51.0347	10.1
30.06.2011	3.7917	-18.3876	24.8
14.07.2011	7.6250	27.8361	14.0
28.07.2011	3.2917	20.9316	10.6
18.08.2011	3.9583	34.8786	25.4
01.09.2011	4.6667	-16.6572	1.1
15.09.2011	2.4583	6.6167	10.1
27.09.2011	1.4167	24.0817	5.5
13.10.2011	2.4583	32.4572	13.3
20.10.2011	1.2917	9.3455	3.2
16.11.2011	0.0833	-0.6828	7.1
31.12.2011	0.0000	9.0460	1.7
19.01.2012	0.0000	1.7928	2.6
14.02.2012	0.0000	6.7077	8.5
13.03.2012	0.3750	-10.7258	1.8
03.04.2012	4.9583	11.7772	11.2
17.04.2012	137.1667	12.0161	1.6
02.05.2012	1.9583	10.3183	8.3
15.05.2012	1.0833	20.4127	3.6
30.05.2012	4.0417	18.4631	4.2
13.06.2012	1.2917	24.7348	9.5
29.06.2012	1.4167	17.4302	20.0
12.07.2012	2.4167	11.3700	4.0
26.07.2012	0.0833	26.8126	11.6
09.08.2012	0.0000	11.8271	2.7
22.08.2012	0.7083	3.6862	12.6
05.09.2012	7.6667	6.9490	4.1
04.10.2012	0.0000	-16.5030	22.4
18.10.2012	0.0417	5.4385	12.1
20.11.2012	0.5833	-15.3909	4.7
11.12.2012	0.0000	0.5549	3.4

In Abbildung 10 werden nun die Mess- und Modellergebnisse der einzelnen Tage graphisch gegenübergestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Messergebnisse meist deutlich über den Modellergebnissen liegen. Für die Messwerte wird zusätzlich deren 95% Konfidenzintervall dargestellt. Ein einseitiger, paarweiser t-test ergab, dass die Modellergebnisse signifikant ($p = 0.04$) unter den Meßwerten liegen.

Um die Performance des Modells zu bewerten, wird der RMSE für die Ergebnisse aus Tabelle 20 wie folgt berechnet:

Allgemeine Formel:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Ergebnis:

$$RMSE = 28,372616$$

Da die gemessenen N_2O -Emissionen des Testfeldstückes 6 negative Werte enthielten (siehe Tabelle 20), wurden diese für die Berechnung des RMSE durch 0 ersetzt.

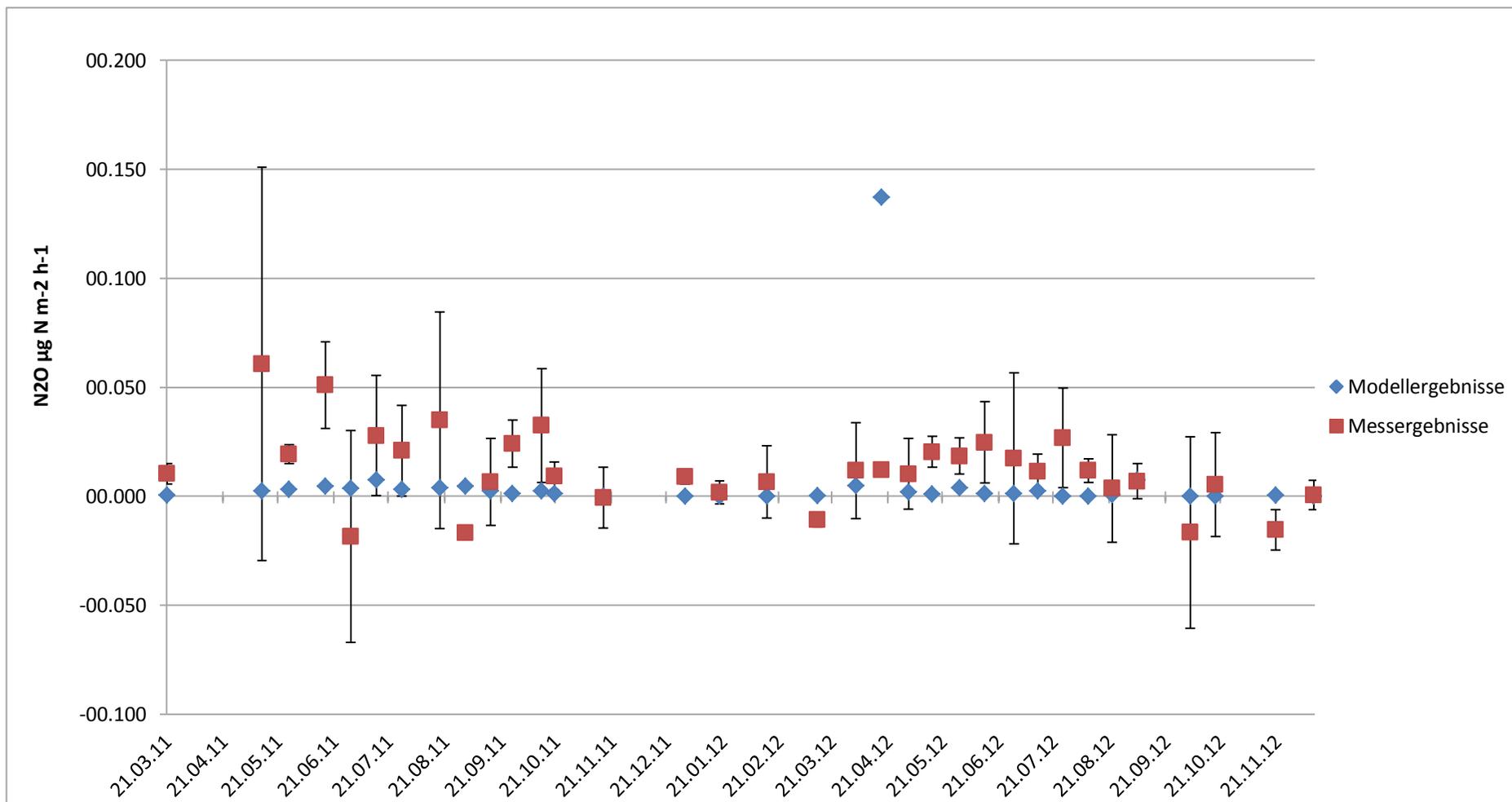


Abbildung 10: Graphische Darstellung des Vergleiches des N₂O Modellergebnisses mit den Messwerten (Fehlerbalken = 95% Konfidenzintervall, n=3)

7 Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden nun die Schlussfolgerungen bezüglich der methodischen Herangehensweise, sowie die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen dargelegt. Vor allem die methodischen Schlussfolgerungen sollen die Grundlage für Verbesserungsansätze von weiterführenden Arbeiten bieten.

7.1 Methodische Schlussfolgerungen

Folgende methodische Probleme zeigten sich in Arbeit.

Die Beurteilung der Qualität und Quantität der modellspezifisch notwendigen Inputfaktoren ist der kritischste Punkt des gesamten Kriterienkataloges.

Die Anzahl der Inputfaktoren alleine lässt keine Aussage über die praktische Anwendbarkeit des Modells zu. So zeigte sich z.B.: bei *STICS* erst in der Modellanwendung, dass trotz einer relativ hohen Anzahl an Parametern (was in dieser Arbeit eigentlich als nicht brauchbar für eine Agrar-LCA definiert wurde) durch Defaultwerte noch eine gute Anwendbarkeit des Modells möglich ist.

Es scheint daher zielführend zu sein, eine maximale Anzahl an Inputparametern erst als Qualitätskriterium zu definieren und zu bewerten.

Die Anforderungen an die Validierungsdaten der Modelle waren zu ungenau definiert.

Es wurde in den Mindestkriterien nur auf die Verfügbarkeit von Validierungsdaten hin geprüft. Erst in den Qualitätskriterien wurde diese daraufhin geprüft, ob es sich um Validierungsergebnisse der N-Emissionen handelt.

Um diese doppelte Bewertung zu vereinfachen ist es notwendig, bereits im Zuge der Mindestkriterien auf vorhandene Validierungsergebnisse bezüglich der N-Emissionen hin zu prüfen.

Ein weiterer kritischer Punkt der Arbeit war die praktische Anwendbarkeit des Modells am Ende des Bewertungsprozesses.

Diese ist nur sehr aufwendig zu prüfen, da das Modell in der Regel erst installiert werden muss. Bei den drei Modellen (*CropSyst*, *MONICA* und *STICS*), welche in die Bewertung der Qualitätskriterien kamen, wurde versucht eine Simulation durchzuführen.

Die Verfügbarkeit der Modellsoftware wurde bereits mit den Mindestkriterien geprüft. Bei den Modellen *CropSyst* und *MONICA* kam es jedoch beim Versuch der Simulation zu Fehlern. *CropSyst* ließ sich nicht ausführen und *MONICA* konnte nur die Standard Bodendatei verarbeiten.

Es ist daher die erfolgreiche Prüfung der Anwendbarkeit als Qualitätskriterium einzuführen und genau zu definieren, wie diese Prüfung zu erfolgen hat.

Es lässt sich bezüglich der Methodik dieser Arbeit folgender Schluss ziehen.

Die Verwendung eines Kriterienkataloges zur Modellauswahl ist ein guter Ansatz. Die einzelnen Kriterien müssen jedoch möglichst präzise und vollständig formuliert sein, damit eine Bewertung des Kriteriums sinnvoll ist.

Des Weiteren müssen kritische Punkte, wie in dieser Arbeit die praktische Modellanwendung, früher getestet werden.

Eine Lösung dieses Problems hätte die Einführung eines Zwischenschrittes zwischen Mindest- und Qualitätskriterien sein können, wo das praktische Funktionieren des Modells geprüft wird.

7.2 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Von insgesamt 29 Modellen welche im Rahmen der Literaturrecherche gefunden wurden, erfüllten acht die gesetzten Mindestkriterien. Aus diesen acht wurden nur drei anhand der Qualitätskriterien beurteilt. Kein einziges dieser drei Modelle erfüllte die Qualitätskriterien vollständig.

Die kritischen Punkte hierbei waren die Vollständigkeit der modellierten N-Emissionen, sowie die Verfügbarkeit von Validierungsdaten bezüglich der N-Emissionen.

Bezüglich des geforderten Modelloutputs erfüllt *STICS* das Kriterium der Vollständigkeit der modellierten N-Emissionen. Beim Modell *MONICA* sind Ergebnisse bezüglich der N₂O- und NH₃-Emissionen vorgesehen, jedoch zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht implementiert. Die genauen Modelloutputs von

CropSyst können nur angenommen werden, da sie nicht explizit angeführt sind. Laut dem Handbuch handelt es sich dabei um NH₃-Emissionen, ausgewaschene N-Verluste und gasförmige anorganische sowie organische N-Verluste. Aufgrund des bereits erwähnten Problems bei der Softwareanwendung konnten diese auch nicht näher definiert werden.

Validierungsdaten standen nur für die NO₃⁻-Emissionen von *STICS* zur Verfügung. Für *CropSyst* und *MONICA* standen nur Validierungsdaten bezüglich der Ernteergebnisse zu Verfügung.

Die fehlenden Validierungsdaten dieser Modelle ist wahrscheinlich darin begründet, dass sie nicht in erster Linie zur Simulation der N-Emissionen entstanden und verwendet werden, sondern vielmehr zur Simulation der zu erwartenden Ernteerträge.

Validierungsversuch

Die verfügbaren Messdaten waren (aus Zeitgründen) auf N₂O Daten beschränkt. Diese Daten bezogen sich auf eine Lysimeterfläche, die nicht mit Standard-Bodenbearbeitungsmaschinen bearbeitet werden konnte. Der Einfluss der Bearbeitung konnte so nicht durch die Daten reflektiert werden.

Das Modell *STICS* unterschätzt die Messergebnisse signifikant. Eine Validierung unter anderen Bedingungen (Boden, Klima, Bearbeitung, Düngung) wäre daher aufschlussreich.

8 Weiterführende Arbeiten

Da in dieser Arbeit aufgrund der gesetzten Kriterien keine Modelle gefunden wurden, welche alle Kriterien vollständig erfüllen, wäre es sinnvoll das Kriterium der Inputfaktoren neu zu definieren und jene Modelle, welche an zu komplexen oder zu vielen notwendigen Inputfaktoren scheiterten, neu zu beurteilen.

Dies vor allem in Hinblick auf die praktische Anwendung, da über die Verfügbarkeit der Inputfaktoren erst vollständig entschieden werden kann, wenn auch die Defaultwerte des Modells bekannt sind.

Des Weiteren ist eine Überarbeitung des Kriterienkataloges mit schärfer definierten Kriterien, möglichen Zwischenschritten (um z.B.: die Funktionalität der Software zu testen) sowie einer gut argumentierten Priorisierung der Kriterien, wie es unter 7.1 bereits erwähnt wurde, für weitere Arbeiten notwendig.

Bewertet man die Einfachheit der Modellanwendung, so war *MONICA* jenes Modell, das am einfachsten zu handhaben war und dabei auch noch die wenigsten Inputparameter benötigt. Wie bereits erwähnt, simuliert es nur die Nitratauswaschung und hatte auch einen Fehler bei der Anwendung. Laut Auskunft des Modellbetreuers sollten jedoch in naher Zukunft die N_2O und NH_3 -Emissionen implementiert und validiert werden. Eine erneute Prüfung der Kriterien und der Anwendung des Modells zu einem späteren Zeitpunkt scheint daher interessant.

Eine ausführlichere Validierung der ausgewählten Modelle mit österreichischen Messdaten auch für NH_3 und Nitrat auf Praxisflächen wäre wünschenswert, soweit solche Daten verfügbar gemacht werden können.

9 Literaturverzeichnis

- ABDALLA, M., M. JONES, J. YELURIPATI, P. SMITH, J. BURKE & M. WILLIAMS, 2010: Testing DayCent and DNDC model simulations of N₂O fluxes and assessing the impacts of climate change on the gas flux and biomass production from a humid pasture. *Atmospheric Environment* **2010** (44), 2961-2970.
- ABRAHAMSEN, P., 2013: Daisy model - Short overview of the Daisy soil plant atmosphere system model. <https://code.google.com/p/daisy-model/wiki/About> (2013).
- ABRAHAMSEN, P., 2014: Daisy Tutorial.
- ABRAHAMSEN, P. & S. HANSEN, 2000: Daisy: An open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling & Software* (Volume 15, Issue 3), 313-330.
- AGES, 2012: Lysimeteranlage Hirschstetten. Kurzbeschreibung.
- AGRICULTURAL SYSTEMS RESEARCH UNIT, 2014: RZWQM. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=17740> (03.08.2014).
- AGROSCOPE, 2015: Ökobilanzmethode SALCA. <http://www.agroscope.admin.ch/oekobilanzen/01199/08185/index.html?lang=de> (2015).
- ANDERL, M., A. FRIEDRICH, S. HAIDER, M. KRIECH, C. LAMPERT, L. MOOSMANN, K. PAZDERNIK, G. PFAFF, M. PINTERITS, S. POUPA, M. PURZER, C. SCHMID, G. SCHMIDT, B. SCHODL, G. STRANNER, E. SCHWAIGER, B. SCHWARZL, K. SEUSS, M. TITZ, P. WEISS, M. WIESER & A. ZECHMEISTER, 2016: Austria's National Inventory Report 2016. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol.
- APEZTEGUÍA, H. P., R. C. IZAURRALDE & R. SERENO, 2009: Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil and Tillage Research* **2009** (102), 101-108.
- ARAL, M. M., 2010: Environmental Modeling and Health Risk Analysis (Acts/Risk). Springer, Niederlande.
- AUDSLEY, E., S. ALBER, R. CLIFT, S. COWELL, R. CRETZAZ, G. GAILLARD, J. HAUSHEER, O. JOILLIETT, R. KLEIJN, B. MORTENSEN, D. PEARCE, E. ROGER, H. TEULON, P. PEDERSEN WEIDEMA & H. V. ZEIJTS, 1997: Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report, Brüssel, Belgien.
- BARKER, T., I. BASHMAKOV, L. BERNSTEIN, J. E. BOGNER, P. R. BOSCH, R. DAVE, P. R. DAVIDSON, B. S. FISHER, S. GUPTA, K. HALSNÆS, G. J. HEIJ, S. KAHN RIBEIRO, S.

- KOBAYASHI, M. D. LEVINE, D. L. MARTINO, O. MASERA, B. METZ, L. A. MEYER, G. J. NABUURS, A. NAJAM, N. NAKICENOVIC, H. H. ROGNER, J. ROY, J. SATHAYE, R. SCHOCK, P. SHUKLA, R. E. SIMS, P. SMITH, D. A. TIRPAK, D. URGE-VORSATZ & D. ZHOU, 2007: Technical Summary. In: METZ, B., O. R. DAVIDSON, P. R. BOSCH, R. DAVE & L. A. MEYER (Hrsg.): Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- BELLMANN, K., W. EBERT, B. FREIER, K. KÜNDEL, E. MATTHÄUS, A. SCHULTZ & V. WENZEL, 1986: Agroecosystem modelling and simulation - The winter wheat agroecosystem modell AGROSIM-W. In: Akademie der Landwirtschaftlichen Wissenschaften DDR (Hrsg.): Tagungs Bericht 242, Berlin.
- BERTUZZI, P., 2014: Web site of the simulation crop model STICS. http://www6.paca.inra.fr/stics_eng (18.12.2014).
- BRECHNER, E., B. DINKELAKER & D. DREESMANN (Hrsg.), 2001: Kompaktlexikon der Biologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- BRENTROP, F., J. KÜSTERS, J. LAMMEL, P. BARRACLOUGH & H. KUHLMANN, 2004: Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology. II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy* (20), 265-279.
- BRENTROP, F., J. KÜSTERS, J. LAMMEL & H. KUHLMANN, 2000: Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **2000** (5), 349-357.
- BRISSON, N., C. GARY, E. JUSTES, R. ROCHE, B. MARY, D. RIPOCHE, D. ZIMMER, J. SIERRA, P. BERTUZZI, P. BURGER, F. BUSSIÈRE, Y. M. CABIDOUCHE, P. CELLIER, P. DEBAEKE, J. P. GAUDILLÈRE, C. HÉNAULT, F. MARAUX, B. SEGUIN & H. SINOQUET, 2003: An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* **2003** (18), 309-332.
- BYSTRICKY, M. & T. NEMECEK, 2015: SALCA- Emissionsmodelle: Anwendung in Österreich. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.): Abschlusstagung des Projektes Farmlife, 23-32.

- CANNAVO, R., S. RECOUS, V. PARNAUDEAU & R. REAU, 2008: Modeling N Dynamics to Assess Environmental Impacts of Cropped Soils. *Advances in Agronomy* (97), 131-174.
- COLORADO STATE UNIVERSITY, 2006: Century Model. <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century5/> (02.05.2006).
- COOTER, E. J., J. O. BASH, J. T. WALKER, M. R. JONES & W. ROBARGE, 2010: Estimation of NH₃ bi-directional flux from managed agricultural soils. *Atmospheric Environment* **2010** (44), 2107-2115.
- CRUTZEN, P. J., A. R. MOSIER, K. A. SMITH & W. WINWARTER, 2008: N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics* (8), 389-395.
- DEL GROSSO, S., D. OJIMA, W. PARTON, A. MOSIER, G. PETERSON & D. SCHIMEL, 2002: Simulated effects of dryland cropping intensification on soil organic matter and greenhouse gas exchange using DAYCENT ecosystem model. *Environmental Pollution* **2002** (116), 75-83.
- DEL GROSSO, S. J., A. R. MOSIER, W. J. PARTON & D. S. OJIMA, 2005: DAYCENT model analysis of past and contemporary soil N₂O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA. *Soil and Tillage Research* **2005** (83), 9-24.
- DEL GROSSO, S. J., W. J. PARTON, A. R. MOSIER, M. D. HARTMANN, J. BRENNER, D. S. OJIMA & D. S. SCHIMEL, 2001: Simulated effects of land use, soil texture, and precipitation on N gas emissions using DAYCENT. In: FOLLETT, R. R. & J. L. HATFIELD (Hrsg.): *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*, 413-431. Elsevier Science Publishers, Niederlande.
- DELGADO, J. A., R. F. FOLLETT & M. J. SHAFFER, 2000: Simulation of Nitrate-Nitrogen Dynamics for Cropping Systems with Different Rooting Depths. *Soil Science Society of America Journal* (64), 1050-1054.
- DELGADO, J. A., P. M. GAGLIARDI, D. NEER & M. J. SHAFFER: *Nitrogen Loss and Environmental Assessment Package with GIS Capabilities (NLEAP-GIS 4.2): User Guide*.
- DIEPENBROCK, W., F. ELLMER & J. LÉON, 2005: *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Grundwissen Bachelor*. Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 3. Aufl.
- DIJK, J. B. V., P. RIJTEMA & C. ROEST, 1985: *ANIMO - Agricultural Nitrogen Model*, Wageningen.

- DOLESCHEL, P. & J. FRAHM (Hrsg.), 2014: Die Landwirtschaft. Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. BLV Verl.-Ges, München, 13., völlig . neu bearb. und erw. Aufl.
- ENGEL, T. & E. PRIESACK, 1993: Expert-N - Ein Modellbaukastensystem fuer Stickstoffmodelle - Ausgangssituation, Zielsetzung und Umsetzung.
- EUROSTAT, 2016a: Ammoniakemissionen (NH₃), nach Sektor. <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=tsdpc290&plugin=1> (26.10.2016).
- EUROSTAT, 2016b: Luftschadstoffe nach Quellsektor. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_air_emis&lang=de (06.10.2016).
- FANK, J., G. FASTL, H. KUPFERSBERGER & G. ROCK, 2006: Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes Wagna - Auswirkungen auf die Grundwassersituation. In: Umweltprogramme für die Landwirtschaft, 43-48.
- FEICHTINGER, F.: STOTRASIM - Simulation der Bodenhydrologie und Stickstoffdynamik von Agrarland, Petzenkirchen.
- FEICHTINGER, F., 1998a: Simulationsrechnung zur Auswirkung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Nitrataustrag. In: Bundesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Schriftenreihe BAW, 75-88.
- FEICHTINGER, F., 1998b: STOTRASIM - Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der gesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: Bundesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Schriftenreihe BAW, 14-41.
- FRANKO, U., 2011: Candy - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ - Forschen für die Umwelt. <http://www.ufz.de/index.php?de=13059>.
- FRANKO, U., G. CROCKER, P. GRACE, J. KLÍR, M. KÖRSCHENS, P. POULTON & D. RICHTER, 1997: Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the CANDY model. *Geoderma* **1997** (81), 109-120.
- FRANKO, U. & B. OELSCHLÄGEL, 1993: CANDY - Carbon Nitrogen Dynamics. In: REINER, L., H. GEIDEL & A. MANGSTL (Hrsg.): Agrarinformatiok, 99-110, Stuttgart.
- FRANKO, U., B. OELSCHLÄGEL & S. SCHENK, 1995: Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. *Ecological Modelling* **1995** (81), 213-222.
- GASSMAN, P. W., J. R. WILLIAMS, V. W. BENSON, R. C. IZAURRALDE, L. M. HAUCK, C. A. JONES, J. D. ATWOOD, J. R. KINIRY & J. D. FLOWERS, 2005: Historical

- Development and Applications of the EPIC and APEX Models. Working Paper 05-WP 397.
- GERAKIS, A., D. P. RASSE, Y. KAVDIR, A. J. SMUCKER, I. KATSALIROU & J. T. RITCHIE, 2006: Simulation of Leaching Losses in the Nitrogen Cycle. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **2006** (37), 1973-1997.
- GILTRAP, D. L., C. LI & S. SAGGAR, 2010: DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agriculture Ecosystems & Environment* **2010** (136), 292-300.
- GLOBAL RESEARCH ALLIANCE MODELING PLATFORM, 2013: Gramp: Models. <http://gramp.org.uk/models/family/2> (2013).
- GOLLNER, G.: Stickstoff-Bindung von Körnerleguminosen.
- GROENENDIJK, P., M. HEINEN, G. KLAMMLER, J. FANK, H. KUPFERBERGER, V. PISINARAS, A. GEMITZI, S. PEÑA-HARO, A. GARCÍA-PRATS, M. PULIDO-VELAZQUEZ, A. PEREGO, M. ACUTIS & M. TREVISAN, 2014: Performance assessment of nitrate leaching models for highly vulnerable soils used in low-input farming based on lysimeter data. *Science of the Total Environment* (499), 463-480.
- HAAS, E., S. KLATT, A. FRÖHLICH, P. KRAFT, C. WERNER, R. KIESE, R. GROTE, L. BREUER & K. BUTTERBACH-BAHL, 2013: LandscapeDNDC: a process model for simulation of biosphere-atmosphere-hydrosphere exchange processes at site and regional scale. *Landscape Ecology* **2013** (28), 615-636.
- HAFL, 2013: Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990-2010 und Prognose bis 2020. Bericht auf Deutsch mit Zusammenfassung auf Französisch und Englisch.
- HAFL, 2014. <http://agrammon.ch/>.
- HANSEN, S., 2002: Daisy, a flexible Soil-Plant-Atmosphere system Model.
- HANSEN, S., H. E. JENSEN, N. E. NIELSEN & H. SVENDSEN, 1990: DAISY - Soil plant atmosphere system model. Miljøstyrelsen, Kopenhagen.
- HASLER, K., S. BRÖRING, S. W. OMTA & H.-W. OLFS, 2015: Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *European Journal of Agronomy* (69), 41-51.
- HÉNAULT, C. & J. C. GERMON, 2000: NEMIS, a predictive model of denitrification on the field scale. *European Journal of Soil Science* **2000** (51), 257-270.
- HERNDL, M., D. U. BAUMGARTNER, T. GUGGENBERGER, M. BYSTRICKY, G. GAILLARD, S. MARTON, J. LANSCHKE, C. FASCHING, A. STEINWIDDER & T. NEMECEK, 2015:

- HLAVINKA, P., M. TRNKA, J. EITZINGER, V. SMUTNÝ, S. THALER, Z. ŽALUD, P. RISCHBECK & J. KREN, 2010: The performance fo CERES- Barley and CERES- Wheat under various soil conditions and tillage practices in Central Europe. *Die Bodenkultur* **2010** (61), 5-17.
- HOFFMANN, F. O. & J. S. HAMMONDS, 1994: Propagation of uncertainty in risk assessments: the need to distinguish between uncertainty due to lack of knowledge and uncertainty due to variability. *Risk Analysis* **1994** (14), 707-712.
- HOLZWORTH, D. P., N. I. HUTH, P. G. DEVOIL, E. J. ZURCHER, N. I. HERRMANN, G. MCLEAN, K. CHENU, E. J. V. OOSTEROM, V. SNOW, C. MURPHY, A. D. MOORE, H. BROWN, J. P. WISH, S. VERRALL, J. FAINGES, L. W. BELL, A. S. PEAKE, P. L. POULTON, Z. HOCHMAN, P. J. THORBURN, D. S. GAYDON, N. P. DALGLIESH, D. RODRIGUEZ, H. COX, S. CHAPMAN, A. DOHERTY, E. TEIXEIRA, J. SHARP, R. CICHOTA, I. VOGELER, F. Y. LI, E. WANG, G. L. HAMMER, M. J. ROBERTSON, J. P. DIMES, A. M. WHITBREAD, J. HUNT, H. V. REES, T. MCCLELLAND, P. S. CARBERRY, J. N. HARGREAVES, N. MACLEOD, C. McDONALD, J. HARS DORF, S. WEDGWOOD & B. A. KEATING, 2014: APSIM - Evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. *Environmental Modelling & Software* **2014** (62), 327-350.
- HOOGENBOOM, G., J. W. JONES, P. W. WILKENS, C. H. PORTER, K. J. BOOTE, L. A. HUNT, U. SINGH, J. L. LIZASO, J. W. WHITE, O. URYASEV, F. S. ROYCE, R. OGOSHI, A. J. GIJSMAN, G. Y. TSUJI & J. KOO, 2012: Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- HUIJBREGTS, M. A. J., 1998: Application of Uncertainty and Variability in LCA. Part II: Dealing with Parameter Uncertainty and Uncertainty due to Choices in Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* **1998** (3), 343-351.
- HÜLSBERGEN, K.-J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag, Aachen.
- IFA & FAO, 2001: Global Estimates of Gaseous Emissions of NH₃, NO and N₂O from Agricultural Land.

- INRA, 2014: Javastics Documentation. Version Javs Stics 1.x / Stics v8.x (old name ModuloSTICS 1.2) User Guide - December 2014.
- INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER, 1993: The IBSNAT Decade. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- IPCC, 2000: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories.
- IPCC, 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry.
- IPCC, 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IZAURRALDE, R. C., J. R. WILLIAMS, W. B. MCGILL, N. J. ROSENBERG & M. C. QUIROGA JAKAS, 2006: Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. *Ecological Modelling* **2006** (192), 362-384.
- JÉGO, G., M. MARTÍNEZ, I. ANTIGÜEDAD, M. LAUNAY, J. M. SANCHEZ-PÉREZ & E. JUSTES, 2008: Evaluation of the impact of various agricultural practices on nitrate leaching under the root zone of potato and sugar beet using the STICS soil-crop model. *Science of the Total Environment* (394), 207-221.
- JOHNSON, C., G. ALBRECHT, Q. KETTERINGS, J. BECKMAN & K. STOCKIN, 2005: Nitrogen Basics – The Nitrogen Cycle. <http://nmosp.cals.cornell.edu/guidelines/factsheets.html>.
- JONES, J., G. HOOGENBOOM, C. PORTER, K. BOOTE, W. BATCHELOR, L. HUNT, P. WILKENS, U. SINGH, A. GIJSMAN & J. RITCHIE, 2003: The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* **2003** (18), 235-265.
- KEATING, B., P. CARBERRY, G. HAMMER, M. PROBERT, M. ROBERTSON, D. HOLZWORTH, N. HUTH, J. HARGREAVES, H. MEINKE, Z. HOCHMAN, G. MCLEAN, K. VERBURG, V. SNOW, J. DIMES, M. SILBURN, E. WANG, S. BROWN, K. BRISTOW, S. ASSENG, S. CHAPMAN, R. MCCOWN, D. FREEBAIRN & C. SMITH, 2003: An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* **2003** (18), 267-288.
- KERSEBAUM, K. C., 1995: Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* **1995** (81), 145-156.
- KERSEBAUM, K. C., 2007: Modelling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **2007** (77), 39-52.
- KERSEBAUM, K. C., 2010: HERMES for Windows 2.04.1 - A simulation model for N-dynamics in arable fields. Documentation. Version: WIN-HERMES 2.04.1, 22.September 2010.

- KITZLER, B. & J. HÖSCH, 2016: Lysimeterversuch Hirschstetten. Mail (2016).
- KLÖPFFER, W. & B. GRAHL, 2009: Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co, Weinheim.
- KUNTZE, H., G. ROESCHMANN & G. SCHWERDTFEGGER, 1994: Bodenkunde. Ulmer, Stuttgart, 5. Auflage.
- KÜSTERMANN, B., M. KAINZ & K.-J. HÜLSBERGEN, 2008: Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* **2008** (23), 38-52.
- KÜSTERMANN, B., H. SCHMID, K. WENSKE & K.-J. HÜLSBERGEN, 2006: Umwelt- und Betriebsmanagement mit dem Modell REPRO. In: WENKEL, K.-O., P. WAGNER, M. MORGENSTERN, K. LUZI & P. EISERMANN (Hrsg.): Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel: Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar- und Umweltinformatik. Referate der 26. GIL Jahrestagung, 137-140.
- LANGENSIEPEN, M., H. HANUS, P. SCHOOP & W. GRÄSLE, 2008: Validation CERES-Wheat under North-German environmental conditions. *Agricultural Systems* **2008** (97), 34-47.
- LI, C., N. FARAHBAKSHAZAD, D. B. JAYNES, D. L. DINNES, W. SALAS & D. MCLAUGHLIN, 2006: Modeling nitrate leaching with a biogeochemical model modified based on observations in a row-crop field in Iowa. *Ecological Modelling* (196), 116-130.
- LI, C., S. FROLKING & T. A. FROLKING, 1992a: A Model of Nitrous Oxide Evolution From Soil Driven by Rainfall Events. 1. Model Structure and Sensitivity. *Journal of Geophysical Research* (97), 9759-9776.
- LI, C., S. FROLKING & T. A. FROLKING, 1992b: A Model of Nitrous Oxide Evolution From Soil Driven by Rainfall Events. 2. Model Application. *Journal of Geophysical Research* **1992** (97), 9777-9783.
- LIAO, W., H. M. G. V. D. WERFT & J. SALMON-MONVIOLA, 2014: Modelling of nitrogen releases in life cycle assessment of crop production. In: SCHENCK, R. & D. HUIZENGA (Hrsg.): LCA Food 2014. ACLA, Vashon, WA, USA.
- LIDÓN, A., C. RAMOS, D. GINESTAR & W. CONTRERAS, 2013: Assessment of LEACHN and a simple compartmental model to simulate nitrogen dynamics in citrus orchards. *Agricultural Water Management* **2013** (121), 42-53.

- LITTLEBOY, M., 1989: Perfect - A Computer Simulation Model of Productivity Erosion Runoff Functions to Evaluate Conservation Techniques. Queensland Department of Primary Industries, Brisbane.
- LOCHNER, H. & C. BECKMANN, 2015: Grundstufe Landwirt. Fachtheorie für Boden, Pflanze, Tier, Technik, Chemie, Physik, Biologie, Züchtung, Ökologie, Landschaftspflege, Artenschutz, Betriebswirtschaft, Buchführung, Datenverarbeitung, Kommunikation, landwirtschaftliches Fachrechnen. BLV-Buchverlag, München, 5., überarb. Aufl.
- MA, L., L. R. AHUJA, J. C. ASCOUGH II, M. J. SHAFFER, K. W. ROJAS, R. W. MALONE & M. R. CAMEIRA, 2001: Integrating System Modeling with Field Research in Agriculture: Applications of the Root Zone Water Quality Model (RZWQM). *Advances in Agronomy* **2001** (71), 233-292.
- MCCOWN, R., G. HAMMER, J. HARGREAVES, D. HOLZWORTH & D. FREEBAIRN, 1996: APSIM: A Novel Software System for Model Development, Model Testing and Simulation in Agricultural Systems Research. *Agricultural Systems* **1996** (50), 255-271.
- MCCOWN, R., G. HAMMER, J. HARGREAVES, D. HOLZWORTH & N. HUTH, 1995: APSIM: An agricultural production system simulation model for operational research. *Mathematics and Computers in Simulation* **1995** (39), 225-231.
- MCCOWN, R. & J. WILLIAMS, 1989: AUSIM: A cropping system model for operational research. In: *Simulation Society of Australia and International Association for Mathematics and Computers (Hrsg.): AUSIM: A cropping system model for operational research.*
- MEIER, M. S., N. JUNGBLUTH, F. STOESSL, C. SCHADER & M. STOLZE, 2014: Higher accuracy in N modeling makes a difference. In: *SCHENCK, R. & D. HUIZENGA (Hrsg.): LCA Food 2014. ACLA, Vashon, WA, USA.*
- MEIER, M. S., F. STOESSL, N. JUNGBLUTH, R. JURASKE, C. SCHADER & M. STOLZE, 2015: Environmental impacts of organic and conventional agricultural products - Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management* (149), 193-208.
- METHERELL, A. K., L. A. HARDING, V. C. COLE & W. J. PARTON, 1993: CENTURY - Soil Organic Matter Model Environment. Technical Documentation Agroecosystem Version 4.0, Fort Collins, Colorado.

- MIRSCHER, W., A. SCHULTZ & K.-O. WENKEL, 1993: Vergleich der Winterweizenmodelle AGROSIM-Wheat und CERES-Wheat. In: SCHULZE, E., B. PETERSEN & H. GEIDEL (Hrsg.): Referate der 14. GIL-Jahrestagung in Leipzig 1993, 29-34.
- MIRSCHER, W. & K.-O. WENKEL, 2007: Modelling soil-crop interactions with AGROSIM model family. In: KERSEBAUM, K. C., J.-M. HECKER, W. MIRSCHER & M. WEGEHENKEL (Hrsg.): Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems, 59-73. Springer, 1. Auflage.
- MIRSCHER, W., K.-O. WENKEL & J. POMMERENING, 1995: Entwicklung einer Agroökosystem-Modellfamilie - Ein Beitrag für betriebliche und regionale Entscheidungs- und Bewertungsmodelle. In: NOELL, C. & J. M. POHLMANN (Hrsg.): Referate der 16. GIL - Jahrestagung in Kiel 1995, 200-207.
- MITTER, H., F. SINABELL & E. SCHMID, 2013: Assessing climate change and policy impacts on protein crop production in Austria. In: Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) e. V. (Hrsg.).
- MIYAMOTO, C., Q. KETTERINGS, J. CHERNEY & T. KILCER, 2008: Nitrogen Fixation. <http://nmsp.cals.cornell.edu/guidelines/factsheets.html>.
- MOSIER, A., C. KROEZE, C. NEVISON, O. OENEMA, S. SEITZINGER & O. V. CLEEMPUT, 1998: Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (52), 225-248.
- MOSIER, A. R., A. D. HALVORSON, G. A. PETERSON, G. P. ROBERTSON & L. SHERROD, 2005: Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (72), 67-76.
- MOSIER, A. R., J. K. SYERS & J. R. FRENEY, 2004: *Agriculture and the Nitrogen Cycle. Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Island Press, Washington.
- MYHRE, G., D. SHINDELL, F. M. BRÉON, W. COLLINS, J. FUGLESTVEDT, J. HUANG, D. KOCH, J. F. LAMARQUE, D. LEE, B. MENDOZA, T. NAKAJIMA, A. ROBOCK, G. STEPHENS, T. TAKEMURA & H. ZHANG, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: STOCKER, T. F., D. QIN, G. K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX & P. M. MIDGLEY (Hrsg.): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- NENDEL, C., 2009: Evaluation of Best Management Practices for N fertilisation in regional field vegetable production with a small-scale simulation model. *European Journal of Agronomy* **2009** (30), 110-118.
- NENDEL, C., 2012: MONICA. Das Modell für Stickstoff und Kohlenstoff in Agrarökosystemen. <http://monica.agrosystem-models.com/>.
- NENDEL, C., 2015: EU-Rotate_N. <http://www.zalf.de/en/forschung/institute/lisa/forschung/oekomod/eurotaten/Pages/Geschichte.aspx>.
- NENDEL, C., 2016: Anfrage MONICA. Mail (22.11.2016).
- NENDEL, C., M. BERG, K. C. KERSEBAUM, W. MIRSCHEL, X. SPECKA, M. WEGEHENKEL, K. O. WENKEL & R. WIELAND, 2011: The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* **2011** (222), 1614-1625.
- NICOLARDOT, B. & J. A. MOLINA, 1994: C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long-term field experimental data.
- OECD, 2013: Nutrients: Nitrogen and phosphorus balances. In: OECD (Hrsg.): OECD Compendium of Agri-environmental Indicators.
- PARTON, W., D. SCHIMEL, C. COLE & D. OJIMA, 1987: Analysis of Factors Controlling Soil Organic Matter Levels in Great Plains Grasslands. *Soil Science Society of America Journal* **1987** (51), 1173-1179.
- PARTON, W. J., M. HARTMAN, D. OJIMA & D. SCHIMEL, 1998: DAYCENT and its land surface submodel: Description and testing. *Global and Planetary Change* **1998** (19), 35-48.
- PARTON, W. J., E. A. HOLLAND, S. J. DEL GROSSO, M. D. HARTMAN, R. E. MARTIN, A. R. MOSIER, D. S. OJIMA & D. S. SCHIMEL, 2001: Generalized model for NO_x and N₂O emissions from soils. *Journal of Geophysical Research* **2001** (106), 17403-71419.
- PATYK, A. & G. A. REINHARDT, 1997: Düngemittel- Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- PERALTA, J. M. & C. O. STOCKLE, 2001: Dynamics of nitrate leaching under irrigated potato rotation in Washington State: A long-term simulation study. *Agriculture Ecosystems & Environment* **2001** (88), 23-34.

- PRIESACK, E., 2004: Expert-N. <http://www.helmholtz-muenchen.de/en/iboe/expertn/> (2004).
- PRIESACK, E., S. ACHATZ & R. STENGER, 2001: Parameterization of Soil Nitrogen Transport Models by Use of Laboratory and Field Data. In: SHAFFER, M. J., L. MA, S. HANSEN & (Keine Angabe) (Hrsg.): Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management, 459-481. Lewis Publishers, Boca Raton.
- PUHLMANN, M., K. KUKA & U. FRANKO, 2007: Comparison of methods for the estimation of inert carbon suitable for initialisation of the CANDY model. In: KERSEBAUM, K. C., J.-M. HECKER, W. MIRSCHEL & M. WEGEHENKEL (Hrsg.): Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems, 209-218. Springer, 1.Auflage.
- RAHN, C. R., K. ZHANG, R. LILLYWHITE, C. RAMOS, J. DOLTRA, J. M. DE PAZ, H. RILEY, M. FINK, C. NENDEL, K. THORUP KRISTENSEN, F. PIRO, A. VENEZIA, C. FIRTH, U. SCHMUTZ, F. RAYNES & K. STROHMEYER, 2007: The Integrated Model - description of the model subroutines, Warwick.
- RENAUD, L., J. ROELSMA & P. GROENENDIJK, 2006: ANIMO 4.0 - User's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching model, Alterra, Wageningen.
- RICHNER, W., H.-R. OBERHOLZER, R. FREIERMUTH, O. HUGUENIN & U. WALTHER, 2006: Modell zur Beurteilung des Nitratauswaschungspotenzials in Ökobilanzen – SALCA-Nitrat. Unter Berücksichtigung der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, N-Düngung), der mikrobiellen Nitratbildung im Boden, der Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen und verschiedener Bodeneigenschaften.
- RICHNER, W., H.-R. OBERHOLZER, R. FREIERMUTH KNUCHEL, O. HUGUENIN, S. OTT, T. NEMECEK & U. WALTHER, 2014: Modell zur Beurteilung der Nitratauswaschung in Ökobilanzen – SALCA-NO₃. Unter Berücksichtigung der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, N-Düngung), der mikrobiellen Nitratbildung im Boden, der Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen und verschiedener Bodeneigenschaften. Version 2.0.
- RITCHIE, J. T. & D. GODWIN, 2013: CERES Wheat 2.0. http://nowlin.css.msu.edu/wheat_book/ (08.02.2013).
- ROELSMA, J. & R. F. HENDRIKS, 2014: Comparative study of nitrate leaching models on a regional scale. Science of the Total Environment **2014** (499), 481-496.
- SADEGHI, A. M., K. J. MCINNES, D. E. KISSEL, M. L. CABRERA, J. K. KOELLIKER & E. T. KANEMASU, 1988: Mechanistic model for predicting ammonia volatilization from

- urea. In: BOCK, B. R. & D. E. KISSEL (Hrsg.): Ammonia volatilization from urea fertilizers, 67-92, Alabama.
- SARGENT, R. G., 1984: A Tutorial on Verification and Validation of Simulation Models. Proceedings of the 1984 Winter Simulation Conference, 115-121.
- SCHAAF, T., E. PRIESACK & T. ENGEL, 1995: Comparing field data from north Germany with simulations of the nitrogen model N-SIM. *Ecological Modelling* **1995** (81), 223-232.
- SCHIMEL, D., B. BRASWELL & E. HOLLAND, 1994: Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles* **1994** (8), 279-293.
- SCHNEBELEN, N., B. NICOULLAUD, H. BOURENNANE, A. COUTURIER, B. VERBEQUE, C. REVALIER, A. BRUAND & E. LEDOUX, 2004: The STICS model to predict nitrate leaching following agricultural practices. *Agronomie* (24), 423-435.
- SCHWEIGER, S., 2016: Stickstoff- und Kohlenstoffkreislaufmodelle für Grünlandflächen und deren Bewertung für eine praktikable Anwendung in einer Ökobilanz. Masterarbeit, Wien.
- SHAFFER, M. J., A. D. HALVORSON & F. J. PIERCE, 1991: Nitrate Leaching and Economic Analysis Package (NLEAP): Model Description and Application, Madison.
- SIMUNKEK, J., K. HUANG & M. T. VAN GENUCHTEN, 1998: The HYDRUS Code for Simulating the One-dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes. *Variably-Saturated Media*, ARS, Riverside, CA.
- SOGAARD, H. T., S. G. SOMMER, N. J. HUTCHINGS, J. F. HUIJSMANS, W. BUSSINK & F. A. NICHOLSON, 2002: Ammonia volatilization from field-applied animal slurry - the ALFAM model. *Atmospheric Environment* **2002** (36), 3309-3319.
- STATISTIK AUSTRIA, 2015: Anbau auf dem Ackerland.
- STENGER, R., E. PRIESACK, G. BARKLE & C. SPERR (Hrsg.): Expert-N - A tool for simulating nitrogen and carbon dynamics in the soil-plant-atmosphere system.
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER a numeric model for the simulation of soil water content and plant yield of a site, Petzenkirchen (31).
- STENITZER, E. & U. MÜLLER, 1996: Wasserhaushalts- und Ertragsmodell SIMWASER. 4. Version. *Arbeitshefte Boden* (1), 3-28.

- STENITZER, E. & E. MURER, 2003: Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model. *Soil and Tillage Research* (73), 43-56.
- STOCKLE, C. O., 2014: The CropSyst Model: A brief description. http://sites.bsye.wsu.edu/CS_Suite_4/CropSyst/documentation/articles/description.html (16.06.2014).
- STÖCKLE, C. O., M. DONATELLI & R. NELSON, 2003: CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* **2003** (18), 289-307.
- STÖCKLE, C. O., S. A. MARTIN & G. S. CAMPBELL, 1994: CropSyst, a cropping systems simulation model: Water/nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural Systems* **1994** (46), 335-359.
- STÖCKLE, C. O. & R. NELSON: *Cropping Systems Simulation Model User's Manual*.
- STRAUBE, J., 2012: NREL-DayCent. <http://www.nrel.colostate.edu/projects/daycent/> (2012).
- STRAUSS, F., 2012: *Modeling climate change and impacts on crop production in Austria*. University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Wien.
- STÜRMER, B., J. SCHMIDT, E. SCHMID & F. SINABELL, 2011: *A modeling framework for the analysis of biomass production in a land constrained economy – the example of Austria*. Diskussionspapier DP-51-2011, Wien.
- SVENDSEN, H., S. HANSEN & H. E. JENSEN, 1995: Simulation of crop production, water and nitrogen balances in two German agro-ecosystems using the DAISY model. *Ecological Modelling* (81), 197-212.
- THOMASSEN, M. A., K. J. CALKER, M. C. SMITH, G. L. IEPEMA & I. D. BOER, 2008: Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems* (96), 95-107.
- UMWELTBUNDESAMT, 2016: Luftschadstoffe. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/>.
- 2012: *User's Guide for the DNDC Model*. (Version 9.5). University of New Hampshire.
- VAN LAAR, H. H., J. GOUDRIAAN & VAN KEULEN, 1992: *Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations, as applied to spring wheat*. CABO-DLO, Wageningen.

- VOGELER, I., D. GILTRAP & R. CICHOTA, 2013: Comparison of APSIM and DNDC simulations of nitrogen transformations and N₂O emissions. *Science of the Total Environment* **2013** (465), 147-155.
- WAGENET, R. J. & J. L. HUTSON, 1989: LEACHM: Leaching Estimation and Chemistry Model: A Process Based Model of Water and Solute Movement, Transformations, Plant Uptake and Chemical Reactions in the Unsaturated Zone. Version 2. New York, Cornell University.
- WAGENINGEN UR, 2015: ANIMO. <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Research-Institutes/alterra/Facilities-Products/Software-and-models/ANIMO.htm>.
- WILLIAMS, J. R., C. A. JONES & P. T. DYKE, 1984: A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions - American Society of Agricultural Engineers* **1984** (27), 129-144.
- YANG, J., D. J. GREENWOOD, D. L. ROWELL, G. A. WADSWORTH & I. G. BURNS, 2000: Statistical methods for evaluating a crop nitrogen simulation model, N_ABLE. *Agricultural Systems* (64), 37-53.
- YANG, J., D. L. ROWELL, I. G. BURNS, G. GUTTORMSEN, H. RILEY & G. A. WADSWORTH, 2002: Modification and evaluation of the crop nitrogen model N_ABLE using Norwegian field data. *Agricultural Systems* (72), 241-261.
- YOUSEFI, M., A. M. DAMGHANI & M. KHORAMIVAFA, 2016: Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. *Environmental Science and Pollution Research* (23), 7390-7397.
- YU, Q., S. A. SASEENDRAN, L. MA, G. N. FLERCHINGER, T. R. GREEN & L. R. AHUJA, 2006: Modeling a wheat–maize double cropping system in China using two plant growth modules in RZWQM. *Agricultural Systems* **2006** (89), 457-477.
- ŽALUD, Z., M. TRNKA, J. EITZINGER, F. RUGET, P. HLAVINKA & A. SCHAUMBERGER, 2006: Evaluation of crop model STICS in the conditions of the Czech Republic and Austria, Brn.
- ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., B. AMON & C. FOLDAL, 2016: NITROAUSTRIA. Nitrogen losses from Austrian agricultural soils - modeling to explore trade off effects, Graz.

10 Anhang

10.1 Modellbeschreibungen

Im Folgenden werden nun alle recherchierten Modelle beschrieben. Es wurde versucht, die Beschreibungen, je nach Verfügbarkeit von geeigneter Literatur, immer ähnlich aufzubauen. Der Erste Teil ‚Entwicklung‘ gibt einen Überblick über die Herkunft und das Alter des Modells. Der zweite Teil ‚Überblick‘ beschreibt das Modell in groben Zügen. Der dritte Teil ‚Mindestkriterien‘ beurteilt das Modell anhand der definierten Mindestkriterien. Dies wurde zum besseren Überblick tabellenförmig dargestellt. Dabei bedeutet ein ‚Nicht beurteilt‘, dass das Kriterium aufgrund von anderen bereits nicht erfüllten Mindestkriterien nicht mehr beurteilt wird.

10.1.1 AGRAMMON

Entwicklung

AGRAMMON wurde von der *Berner Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL)*, sowie privater Firmen in der Schweiz entwickelt (HAFL 2014).

Überblick

Ziel des Modelles ist es, die einzelbetrieblichen Ammoniakemissionen zu berechnen. Dies geschieht auf Basis eines Stickstoffflussmodells und ist für die Anwendung in der landwirtschaftlichen Beratung und Praxis sowie betroffener Behörden geeignet. Als Ergebnis der Modellrechnung resultiert der Fluss von Gesamtstickstoff, löslichen Stickstoff und Ammoniakemissionen pro Jahr und Betrieb (HAFL 2013). Da es sich vor allem auf die Verluste bis einschließlich der Ausbringung beschränkt, werden keine Parameter bezüglich Boden und Kultur benötigt.

AGRAMMON ist ein dynamisches Modell. Aktuell sind noch keine Validierungsdaten verfügbar. Es kann mit voreingestellten Musterdatensätzen, welche individuell geändert werden können oder auch mit neuen Datensätzen arbeiten. Die aktuelle Version 4.0 ist als webbasierte Anwendung frei verfügbar und wird laufend von der HAFL betreut.

Tabelle 21: AGRAMMON Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	-	Beschränkt sich in seiner Anwendung auf die Ammoniakemissionen von der Lagerung bis zur Ausbringung.
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 4 (2013)
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:	-	Nicht bzw. unzureichend vorhanden
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

ARAMMON wird zur Berechnung der NH₃-Emissionen im Projekt *Farmlife* (HERNDL et al. 2015), in dem versucht wird, die Schweizer Ökobilanzmethode in Österreich anzuwenden, verwendet. Da es sich aber nur mit den Ammoniak-Emissionen beschäftigt und es keine verfügbaren Validierungsdaten zum Modell gibt, kommt es für eine nähere Betrachtung nicht mehr in Frage.

10.1.2 AGROSIM

Entwicklung

Die Modellfamilie *AGRO-ecosystem SIMulation* (*AGROSIM*) wurde 1995 vom *Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)* e.V. in Kooperation mit dem *Potsdam-Institut für Klimaforschung (PIK)* in Deutschland entwickelt (MIRSCHER et al. 1995). Sie geht aus dem Modell *AGROSIM-Wheat* hervor, welches bereits von BELLMANN et al. (1986) beschrieben wurde (MIRSCHER et al. 1993).

Überblick

AGROSIM wurde speziell für die landwirtschaftlich genutzte Moränenlandschaft Nordostdeutschlands entwickelt. Sie beinhaltet spezielle Modelle für Winterweizen (*AGROSIM WW*), Wintergerste (*AGROSIM WG*), Winterroggen (*AGROSIM WR*), Zuckerrübe (*AGROSIM ZR*) sowie verschiedene Zwischenfrüchte (*AGROSIM ZR*). Der Bodenstickstoff wird in den *AGROSIM* Modellen als Balancemodell berechnet. Dabei wird der aktuelle Bedarf der Pflanze an Stickstoff dem Angebot in einer täglichen Auflösung gegenübergestellt (MIRSCHER & WENKEL 2007).

Die *AGROSIM* Modelle sind validierte, dynamische Modelle (MIRSCHER & WENKEL 2007).

Über die Aktualität des Modells, sowie über die Verfügbarkeit und Art der Software und der benötigten Inputparameter kann an dieser Stelle aufgrund mangelnder Literatur und Information keine Aussage getroffen werden.

Tabelle 22: *AGROSIM* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	-	Keine Anwendung für Mais
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Die Modellfamilie *AGROSIM* wurde in Teilen Europas bereits getestet und könnte somit auch in Österreich eingesetzt werden. Das Ziel dieser Modelle ist jedoch die komplexe Abbildung der gesamten Kulturpflanze unter Berücksichtigung der wichtigsten Umweltgrößen (MIRSCHER et al. 1993). Die Stickstoffberechnung dient daher mehr dem aktuellen Bedarf der Pflanze als der Berechnung der Emissionen.

10.1.3 ALFAM

Entwicklung

Das Modell *ALFAM* (*Ammonia losses from field-applied animal manure*) wurde 2002 von mehreren europäischen Forschungseinrichtungen aus Dänemark, Deutschland, Norwegen, Niederlande, UK, Frankreich, Irland, Italien, Schweden und der Schweiz erarbeitet (SOGAARD et al. 2002).

Überblick

Es wurde für die Anwendung in der Praxis entwickelt und beschränkt sich auf die Ammoniak Verluste nach der Ausbringung von Rinder- oder Schweinegülle. Es bezieht sich auf das den Daten zugrunde liegende Feldstück und simuliert die

Emissionen in einer stündlichen Auflösung. Dem Modell liegen nur Daten von Experimenten auf kahlem Boden, Stoppeln oder einer Kulturhöhe <15cm mit Rinder- oder Schweinegülle zugrunde. Die Auswahl einer anderen Stickstoffquelle ist nicht möglich. *ALFAM* wurde in vier europäischen Ländern (Italien, England, Norwegen und Dänemark) erfolgreich getestet (SOGAARD et al. 2002).

Tabelle 23: ALFAM Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	<i>ALFAM</i> berechnet kulturunabhängig
Modellkomponenten verfügbar:	✓	Freie EXCEL Tabelle
Aktualität:	✓	
Schlagbezogene Auflösung:	~	
Validierungsdaten:	✓	Validierungsdaten für Europa sind vorhanden
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:	✓	Etwa 10

Bemerkung

Das Modell ist in Form einer EXCEL Tabelle frei verfügbar. Es beschränkt sich aber in den Berechnungen auf die Ammoniakverluste nach der Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle. Somit erfüllt es zwar die Mindestkriterien, aber aufgrund der fehlenden Vollständigkeit der Stickstoffberechnung, nicht die Qualitätskriterien.

10.1.4 ANIMO

Entwicklung

ANIMO (Analysis of Networks with Interactive Modeling) wurde von DIJK et al. (1985) am *Institut für Land und Wasser Management Forschung* in Dänemark entwickelt.

Überblick

Ziel des Modells ist die Evaluierung von Stickstoffverlusten ins Grundwasser, Stickstoff und Phosphormengen in Oberflächengewässer, sowie Treibhausgasemissionen (WAGENINGEN UR 2015). Es wurde für die Anwendung in der Forschung entwickelt und liefert auf ein Feldstück bezogen (RENAUD et al. 2006) in täglichen Zeitschritten die Emissionsdaten von Nitrat (NO_3^-) und Ammonium-Stickstoff (NH_4^+) (WAGENINGEN UR 2015).

ANIMO ist ein dynamisches Modell und wurde bereits vielfach diskutiert und mit anderen Modellen verglichen. Es benötigt etwa 80 verschiedene Inputparameter, welche zum Teil als Standardwerte voreingestellt sind (WAGENINGEN UR 2015). Die aktuelle Version 4.0 (RENAUD et al. 2006) der Software ist für den nicht kommerziellen Gebrauch frei verfügbar.

Tabelle 24: ANIMO Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 4.0 aus 2005
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:	~	Qualität der Inputparameter ist sehr hoch
Anzahl Inputparameter:	-	Etwa 80

Bemerkung

ANIMO berechnet sowohl die gasförmigen als auch die Auswaschungsverluste von Stickstoff und wird laufend von der *Wageningen UR (University & Research Centre)* aktualisiert und betreut. Es bietet eine breite Anwendbarkeit sowohl auf Grünland, wie auch auf Ackerkulturen und wurde vielfach getestet. Einzig die Qualität der benötigten Inputdaten, welche für die Anwendung in der Zielgruppe der Wissenschaft und Forschung kein Problem darstellt, könnte für eine praktikable Anwendung in einer Agrarökobilanz in Österreich hinderlich sein. Die Quantität der benötigten Inputparameter ist mit ca. 80 über dem definierten Maximum. Es wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

10.1.5 APSIM

Entwicklung

Das Modell *APSIM* (*Agricultural Production System Simulator*) wurde erstmals von McCOWN et al. (1995) beschrieben und von der *Agricultural Production System Research Unit (APSRU)* ab 1991 in Australien entwickelt (KEATING et al. 2003). Es entstand aus den Modellen *AUSIM* von McCOWN & WILLIAMS (1989) und *PERFECT* von LITTLEBOY (1989) (HOLZWORTH et al. 2014).

Überblick

APSIM wurde aus Mangel an passenden Modellen, die den Ansprüchen Inputflexibilität bezüglich Umwelteinflüssen und Managementänderung beziehungsweise mangels Weiterentwickelbarkeit durch die Forschung, entwickelt und diente zu Beginn der Forschung (McCOWN et al. 1996). Mittlerweile hat sich aber aus einem Anbausystemmodell ein Agro-Ökosystemmodell entwickelt, das in erster Linie im praktischen Bereich eingesetzt wird und sich aus verschiedenen Modulen zusammensetzt (KEATING et al. 2003). Die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik wird in *APSIM* vom *SoilN* Modul in einer täglichen Auflösung beschrieben. Dabei werden die N-Mineralisation, N-Immobilisation und Nitrifikation, Denitrifikation und Nitrat- und Ammonium Adsorption und Verlagerung für unterschiedliche Bodenschichten beschrieben (VOGELER et al. 2013). Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung und der Vielzahl an unterschiedlichen Modulen findet *APSIM* eine breite Einsatzmöglichkeit. Die Auswahl der voreingestellten Böden und Wetterdaten beschränken sich auf Australien, Bangladesch, Indonesien, Afrika (allgemein) und Südafrika. Eigene Daten können jedoch importiert werden.

Es ist ein dynamisches Modell und wurde vielfach validiert. Die aktuelle Version 7.8 aus dem Jahr 2016 ist für den nichtkommerziellen Gebrauch als Download frei verfügbar.

Tabelle 25: APSIM Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 7.8 aus 2016
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt; Hängt von den verwendeten Modulen ab

Bemerkung

APSIM ist ein vielfach eingesetztes und aktuelles Agro-Ökosystemmodell, das sehr flexibel an die verschiedensten Ausgangssituationen angepasst werden kann. Sind die Grunddaten für Wetter und Boden vorhanden kann es auch auf österreichische Verhältnisse angewendet werden.

Es bietet sich somit auch für die Verwendung in einer Agrarökobilanz an. Die Komplexität des Modells kann jedoch erst bei genauerer Betrachtung beurteilt werden, da es eine Vielzahl an Modulen gibt, welche man, je nach Anwenderziel, auswählen kann.

10.1.6 CANDY

Entwicklung

CANDY (*Carbon and Nitrogen Dynamics*) wurde erstmals von FRANKO & OELSCHLÄGEL (1993) beschrieben und am *Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle* in Deutschland entwickelt.

Überblick

Es wurde entwickelt, um die Dynamik des Kohlenstoff- und Stickstoffumsatzes im Boden sowie der Bodentemperatur und des Bodenwassergehaltes zu beschreiben, wobei der Schwerpunkt des Modells in der Berechnung der Langzeitdynamik des organischen Materialumsatzes sowie der Kurzzeitdynamik des Stickstoffumsatzes liegt (FRANKO et al. 1997). Folgende Prozesse werden für die Stickstoffdynamik berücksichtigt: Der Input mineralischen Stickstoffes, die Auswaschung von gelösten

Stickstoff, die Mineralisierung aus organischem Material, sowie die Nitrifikation und Denitrifikation. Die Ergebnisse werden in täglicher Auflösung auf ein Feldstück bezogen ausgegeben (FRANKO et al. 1995). In Bezug auf Kultur, Bodenart und Region setzt sich das Modell keine Grenzen.

CANDY ist ein dynamisches, für die C-Dynamik validiertes Modell und ist mit einer GIS Software verknüpft (FRANKO 2011). Die Inputdaten werden in Parameter und Szenario Daten gegliedert. Zu den Parametern zählen kulturbezogene Daten (aktuelle Wuchshöhe, Vegetationszeit, etc.), Bodendaten und Daten bezüglich dem organischen Material (C/N Verhältnis, Trockenmassegehalt, etc.). Zu den Szenario Daten werden Wetterdaten, Managementdaten und Anfangsbedingungen des Kohlenstoffes, des Stickstoffes und der Feuchtigkeit des Bodens benötigt. Sind Daten nicht verfügbar liefert *CANDY* voreingestellte Daten (PUHLMANN et al. 2007).

Tabelle 26: *CANDY* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 2015 aus 2015
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	-	Validierungsdaten nur für die C-Dynamik
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt; Hängt von den verwendeten Modulen ab

Bemerkung

CANDY liefert tägliche Daten bezüglich der Stickstoffemissionen, sowohl der gasförmigen, als auch der Auswaschungsverluste. Es ein in Deutschland vielfach verwendetes, sowie aktuelles Modell und ist somit auch in Österreich anwendbar. Es stehen jedoch nur Validierungsdaten für die C-Dynamik zur Verfügung.

10.1.7 CENTURY

Entwicklung

Das Agro-Ökosystemmodell *CENTURY* wurde von PARTON et al. (1987) erstmals beschrieben und als Projekt der *U.S. National Science Foundation Ecosystem Studies Research Projects* in Amerika entwickelt.

Überblick

Es simuliert die C-, N-, P- und S-Dynamiken in monatlichen Zeitschritten in Skalen von Jahrhunderten oder Jahrtausenden. Das Modell wurde vor allem dafür entwickelt, um die Vielzahl der verschiedenen Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungssysteme für eine Systemanalyse zur Bewertung des Management und der globalen Änderungen auf die Produktivität und Nachhaltigkeit von Agrar-Ökosystemen, zu erfassen (COLORADO STATE UNIVERSITY 2006). *CENTURY* erfasst sowohl die Stickstoffverluste durch Auswaschung, die gasförmigen Verluste, sowie Verluste durch Abtransport, Verbrennung, etc. von Ernterückständen oder Bodenerosion (METHERELL et al. 1993). Bereits zu Beginn von *CENTURY* wurde das Modell auf viele verschiedene Kulturen angewendet (SCHIMEL et al. 1994).

Es ist ein dynamisches Modell und die Version 4.0 wurde bereits ausreichend validiert. Die aktuelle Version 5.0 aus 2006 wird aufgrund unzureichender Validierungsdaten noch nicht offiziell zum Download angeboten. Prinzipiell ist die Software aber frei verfügbar und wird von der *Colorado State University* betreut (COLORADO STATE UNIVERSITY 2006). Auf Basis dieses Modells wurde ein weiteres Modell mit dem Namen *DayCent* (siehe 10.1.11) entwickelt, welches die Ergebnisse in einer täglichen Auflösung ausgibt.

Tabelle 27: CENTURY Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 5.0 aus 2006
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	~	Nur für die alte Version
Verfügbarkeit der Parameter:	~	Model für die Forschung
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt;

Bemerkung

CENTURY berechnet die benötigten Stickstoffemissionen und ist mit dem letzten Update der Version 5.0 aus 2006 ein aktuelles Modell, welches auf eine Vielzahl von Kulturen und Bodenarten angewendet werden kann. Für die aktuelle Version stehen zurzeit aber noch unzureichend viele Validierungsdaten zur Verfügung. Somit wäre die Version 4.0 aus 1993 zu bevorzugen. Mit einem Alter von 22 Jahren und der Tatsache, dass *CENTURY* in erster Linie in der Forschung für Langzeituntersuchungen eingesetzt wird, ist es für eine Anwendung in einer Agrar-Ökobilanz nicht geeignet.

10.1.8 CERES

Entwicklung

CERES (Crop Estimation through Resource and Environment Synthetics) ist eine Familie von Pflanzen-Boden–Atmosphären-Modellen, welche die Getreidekomponenten des Software Paketes *DSSAT (Decision Support for Agrotechnology Transfer)* (siehe 10.1.13) des *IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer)* Projektes, welches zwischen 1982 und 1992 von der *U.S. Agency of International Development* finanziert wurde, darstellen (GERAKIS et al. 2006). Die erste Version vom Ausgangsmodell *CERES-Wheat* wurde bereits 1977 entwickelt (RITCHIE & GODWIN 2013).

Überblick

Es wurde für die Simulation der Effekte von unterschiedlicher Bewirtschaftung und Stickstoffversorgung, verschiedenen Böden und Wettersituationen auf Pflanzenwachstum und Entwicklung, sowie des Ernteertrages, also für die Verwendung in der Forschung, entwickelt. In der Stickstoffberechnung werden die wichtigsten Stickstoffverlustprozesse simuliert, jedoch nicht die gasförmigen Verluste von Ammonium (RITCHIE & GODWIN 2013). Die Ergebnisse werden in einer täglichen Auflösung auf Schlagebene ausgegeben. Das Modell ist jeweils auf die Anwendung einer bestimmten Kultur zugeschnitten. Zurzeit werden in der aktuellen Version 4,5 von *DSSAT* folgende Modelle von *CERES* angewendet: *CERES-Maize*, *CERES-Sweetcorn*, *CERES-Rice*, *CERES-Sorghum*, *CERES-Millet* und *CERES-Wheat* (für Weizen und Gerste) (JONES et al. 2003). Somit ergeben sich auch die Einschränkungen auf diese Kulturen.

CERES ist ein dynamisches Modell, welches für die Anwendung in der Forschung der U.S. Landwirtschaft entwickelt wurde. Es wurde aber auch in Europa zum Beispiel von LANGENSIEPEN et al. (2008), bzw. in Österreich von HLAVINKA et al. (2010) angewendet. Als Submodell von *DSSAT* wird es auch in Verbindung damit aktualisiert und laufend vom *DSSAT* Entwicklungsteam, das sich aus Forschern verschiedener U.S. Universitäten zusammensetzt, betreut. Die aktuelle Version der *DSSAT* Software, 4.6 aus 2015 ist frei als Download frei Verfügbar (JONES et al. 2003).

Tabelle 28: *CERES* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 4.6 aus 2015
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

CERES ist ein Crop Simulation Modell (CSM). Dies dient in erster Linie der Schätzung des Ertrages unter verschiedenen Ausgangssituationen. Somit unterliegt auch die Stickstoffberechnung diesem Ziel. Emissionen werden nur im geringen Ausmaß erfasst. Daher erfüllt es zwar durch die Aktualität und der laufenden Betreuung über die *DSSAT* Software, bzw. der erfolgreichen Anwendung in Mitteleuropa (HLAVINKA et al. 2010) die Mindestkriterien, jedoch scheitert es an den Qualitätskriterien in Punkto Vollständigkeit der N-Berechnung und ist somit für die Anwendung in einer Agrar-Ökobilanz nicht geeignet.

10.1.9 CropSyst

Entwicklung

CropSyst (*Cropping Systems Simulation Model*) wurde erstmals von STÖCKLE et al. (1994) beschrieben und an der *Washington State University* entwickelt.

Überblick

Die Motivation lag vor allem darin, ein analytisches Hilfsmittel für die Forschung an den Effekten von Klima, Boden und Management auf die Systemproduktivität und die Umwelt zu entwickeln, dies in eine möglichst nutzerfreundliche Oberfläche zu integrieren und das Modell mit einer GIS Software sowie einem Wettergenerator zu verbinden (STÖCKLE et al. 2003). In der Stickstoffbilanz werden auch sowohl die Auswaschungsverluste (PERALTA & STOCKLE 2001) als auch die Verluste durch Verdampfung (STÖCKLE & NELSON) berücksichtigt. Die Ergebnisse werden in einer täglichen Auflösung pro Schlag ausgegeben. Das Modell wurde auf Mais, Weizen Gerste, Sojabohne, Sorghum und Lupinie im Westen der USA, Südfrankreich, Nord- und Süditalien Nordsyrien, Nordspanien und Westaustralien mit guten Resultaten angewendet (STOCKLE 2014). Es gibt somit keine regionalen Einschränkungen. Bezüglich der Kulturen bietet *CropSyst* für die bekanntesten Kulturen voreingestellte Parameter. Diese können jedoch für Berechnung von anderen Kulturen geändert werden (STOCKLE 2014).

CropSyst ist ein dynamisches, vielfach getestetes Modell. Die aktuelle Version 4.0 der Software steht zum freien Download bereit und wird von den Entwicklern laufend betreut.

Tabelle 29: *CropSyst* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	2014;
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Anwendbarkeit in Österreich:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

CropSyst ist ein Soil Plant Atmosphere Continuum Modell und ist für die Anwendung in der Forschung ausgelegt. Jedoch bietet es durch das Ziel einer Anwendung in einer möglichst nutzerfreundlichen Oberfläche, die Möglichkeit einer praxisorientierten Anwendung.

10.1.10 DAISY

Entwicklung

Das Boden-Pflanzen-Atmosphären Systemmodell *DAISY* wurde von HANSEN et al. (1990) erstmalig beschrieben und an der *Royal Veterinary and Agricultural University* in Dänemark zur Verringerung der Stickstoffverluste entwickelt (SVENDSEN et al. 1995).

Überblick

Ziel von *DAISY* ist die Anwendung im wissenschaftlichen Bereich (ABRAHAMSEN & HANSEN 2000). Die Stickstoffbilanz wird über den Ammonium- und Nitratkreislauf sowie über den Kreislauf des organischen Stickstoffes berechnet. Hier werden auch die gasförmige Stickstoffverluste erfasst (HANSEN 2002). Die Auflösung der Ergebnisse erfolgt in täglichen Zeitschritten (ABRAHAMSEN & HANSEN 2000) und geht in der Berechnung von einheitlichen Feldstücken aus. Sollten größere Flächen simuliert werden, wird empfohlen *DAISY* mit einer GIS Software zu verknüpfen (ABRAHAMSEN 2013). Es hat keine Einschränkungen bezüglich der Kulturarten oder Bodentypen, auf welchen es angewendet werden kann (ABRAHAMSEN & HANSEN 2000).

DAISY ist ein dynamisches, vielfach validiertes Modell. Die Input Parameter werden mittels Inputfiles in *DAISY* eingespielt. Die aktuelle Version 5.28 aus 2016 ist als Download frei verfügbar und wird laufend von den Entwicklern betreut.

Tabelle 30: DAISY Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter	~	Reines Forschungsmodell
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

DAISY berechnet aufgrund der hauptsächlichen Anwendung in der Forschung über 30 verschiedene Stickstoff Outputdaten (ABRAHAMSEN 2014). Es ist ein aktuelles Modell und wurde vor allem in Dänemark vielfach auf die verschiedensten Kulturarten und Bodentypen getestet. Auch eine Anwendung auf österreichische Verhältnisse ist möglich. Aufgrund der Komplexität der benötigten Inputparameter ist jedoch eine Anwendung in einer Agrarökobilanz unter den Voraussetzungen dieser Arbeit nur bedingt möglich.

10.1.11 DayCent

Entwicklung

DAYCENT ist eine Version des Modells *CENTURY* (siehe 10.1.7) mit täglichen Zeitschritten und wurde erstmals von PARTON et al. (1998) an der *Colorado State University* beschrieben.

Überblick

Das Ziel von *DAYCENT* ist die Simulation von Boden N_2O -, NO_x - und CH_4 -Flüssen in terrestrischen Ökosystemen (PARTON et al. 1998). Die Stickstoffbezogenen Outputdaten sind der tägliche Gasfluss von N_2O , NO_x und N_2 , sowie der organisch gebundene Stickstoff und NO_3 -Auswaschungen (STRAUBE 2012) eines einheitlichen Schlages. *DAYCENT* wurde sowohl an den wichtigsten Kulturen auf unterschiedlichen Böden in den USA (DEL GROSSO et al. 2002), als auch auf Grünland in Irland (ABDALLA et al. 2010) erfolgreich angewendet und gibt keine besonderen Einschränkungen diesbezüglich vor.

DAYCENT ist ein dynamisches Modell. Die Simulation der Stickstoffflüsse wurde von DEL GROSSO et al. (2001), PARTON et al. (2001), DEL GROSSO et al. (2002), sowie DEL GROSSO et al. (2005) in den USA getestet (STRAUBE 2012) und wie bereits erwähnt von ABDALLA et al. (2010) in Irland getestet. Über die Aktualität und der Verfügbarkeit der Software liegt zum aktuellen Zeitpunkt keine Information vor.

Tabelle 31: DayCent Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	-	Verfügbarkeit des Modells, bzw. der Modellkomponenten nicht bekannt
Aktualität:	~	Aktuelle Version: 4.5; Datum unbekannt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

DAYCENT berechnet wie das zugrunde liegende Modell *CENTURY* (siehe 10.1.7) die benötigten Stickstoffverluste. Diese jedoch in einer täglichen Auflösung. Des Weiteren sind Validierungsdaten vorhanden und es besteht die Möglichkeit das Modell auf österreichische Verhältnisse anzuwenden. Es wird jedoch zurzeit von der *Colorado State University* nicht zur Verfügung gestellt, bzw. ist dies nicht bekannt.

10.1.12 DNDC

Entwicklung

DNDC (DeNitrification-DeComposition) wurde erstmals in Li et al. (1992b, 1992a) beschrieben und am *Institute for the Study of Earth, Oceans and Space* an der *University of New Hampshire* in den USA entwickelt.

Überblick

Zu Beginn diente es der Simulation von N₂O-Emissionen bepflanzten Böden in den USA (GILTRAP et al. 2010). Die Anwenderzielgruppe blieb dabei vielseitig. Die aktuelle Version berechnet alle nötigen Stickstoffflüsse in einer täglichen Auflösung für den zugrunde liegenden Schlag (INSTITUTE FOR THE STUDY OF EARTH, OCEANS AND SPACE 2012). *DNDC* wurde vielfach weiterentwickelt und erweitert. So gibt es zurzeit eine Vielzahl an verschiedenen Versionen. Darunter länderbezogene Modelle (z.B.: *UK-DNDC*, *DNDC- Europe*, *BE- DNDC*, *US- DNDC*, etc.), kulturbezogene Modelle (z.B.: *Rice- DNDC*, *Crop- DNDC*, etc.) oder nutzungsbezogene Modelle (z.B.: *Forest-*

DNDC, Wetland- DNDC, Landscape- DNDC) (GLOBAL RESEARCH ALLIANCE MODELING PLATFORM 2013). *DNDC* ist somit vielseitig einsetzbar.

Das Modell ist ein dynamisches, vielfach validiertes Model. Die aktuelle Version 9.5 der Software des Grundmodells wurde 2013 letztmals überarbeitet und steht als Download frei zur Verfügung (GLOBAL RESEARCH ALLIANCE MODELING PLATFORM 2013). Je nach Parameter gibt es die Möglichkeit, auf voreingestellte Werte zurückzugreifen bzw. einzuspielen. Gesamt werden etwa 100 Parameter benötigt.

Tabelle 32: *DNDC* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 9.5 aus 2013
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:	~	Qualität der Inputparameter ist sehr hoch
Anzahl Inputparameter:	-	Ca. 100

Bemerkung

DNDC berechnet die benötigten Stickstoffflüsse und zählt zu den bekanntesten und verbreitetsten Modellen. Das Grundmodell ist ebenso frei verfügbar und mit der aktuellen Version aus 2013 nicht veraltet. Des Weiteren bietet die Vielzahl an verschiedenen Modellvariationen eine breite Einsatzmöglichkeit. Das Grundmodell wurde vor allem in Kanada, den USA und in China immer wieder erfolgreich getestet. Die Version *LANDSCAPE DNDC* (HAAS et al. 2013) wurde in Deutschland entwickelt und getestet. Des Weiteren gibt es ein aktuelles österreichisches Projekt, *NITROAUSTRIA*, welches speziell Stickstoffverluste aus landwirtschaftlich genutzten Böden Österreichs mit *L-DNDC* modelliert (ZECHMEISTER-BOLTENSTERN et al. 2016). Die notwendigen Inputparameter sind jedoch sehr komplex und im Rahmen dieser Arbeit nicht verfügbar. Des Weiteren ist die Quantität der Inputparameter mit ca. 100 über dem definierten Maximum.

10.1.13 DSSAT

Entwicklung

DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) wurde von einem internationalen Netzwerk von Wissenschaftern (*International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer*) entwickelt und in INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER (1993) erstmals beschrieben (JONES et al. 2003).

Überblick

DSSAT ist ein Anbausystem-Modell und besteht aus verschiedenen Submodellen. Darunter *CENTURY* (siehe 10.1.7), *CERES* (siehe 10.1.8) und weitere (HOOGENBOOM et al. 2012).

Tabelle 33: DSSAT Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:		Nicht beurteilt
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Da *DSSAT* ein Zusammenschluss verschiedener, teilweise bereits beschriebener Modelle ist und in erster Linie der Optimierung der Bewirtschaftung, sowie der Wissenschaft dient, wird hier nicht weiter auf dieses Modell eingegangen.

10.1.14 EPIC

Entwicklung

Die Entwicklung von *EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator)* begann 1981 (GASSMAN et al. 2005). Es wurde am *United States Department of Agriculture* entwickelt, um die Boden und Wasser Ressourcen zu beurteilen. Erstmals wird es in WILLIAMS et al. (1984) beschrieben.

Überblick

Zu Beginn wurde *EPIC* entwickelt, um die Effekte von Bodenerosion und Landwirtschaftlicher Produktion zu evaluieren. Mittlerweile hat es sich zu einem umfangreichen Agrar-Ökosystemmodell für die Anwendung in der Forschung entwickelt, das eine weite Bandbreite an Prozessen simulieren kann (APEZTEGUÍA et al. 2009). Die Stickstoffberechnung in *EPIC* folgt dem Ansatz des Modells *CENTURY* (siehe 10.1.7) (IZAURRALDE et al. 2006) und simuliert die gasförmigen Emissionen (N_2O und N_2), sowie die Auswaschungsverluste in Form von NO_3^- und die Erosionsverluste (APEZTEGUÍA et al. 2009) in einer Auflösung von einem Tag bis hin zu 100 Jahren und mehr (COOTER et al. 2010). *EPIC* kann auf die meisten Kulturen und Bodenarten angewendet werden. Auch Anwendungen in Österreich sind unter anderem von STÜRMER et al. (2011), MITTER et al. (2013) oder STRAUSS (2012) dokumentiert.

EPIC ist ein vielfach getestetes und laufend aktualisiertes umfassendes Agrar-Ökosystemmodell. Die aktuelle Version der Software v.0810 aus 2014 wird von Texas A&M AgriLife Research frei zur Verfügung gestellt. Auf *EPIC* basierend, wird zusätzlich *WinEPIC* bzw. *iEPIC*, ein Produktions-Risiko-Management-Modell angeboten. Die Anforderung an die Qualität und Quantität der Grunddaten lassen sich mit dem Hauptverwendungszweck Forschung erklären.

Tabelle 34: *EPIC* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 0810 aus 2014
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:	~	Qualität der Inputparameter ist sehr hoch
Anzahl Inputparameter:	-	>50

Bemerkung

EPIC liefert als umfassendes Agrar-Ökosystemmodell eine Vielzahl an Ergebnissen der Stickstoffdynamik. Des Weiteren ist es in der Forschung weit verbreitet und aktuell. Daher gibt es auch eine Vielzahl an Validierungsdaten. Ebenso wurde es,

wie bereits erwähnt, in Österreich bereits angewendet. Die Komplexität des Modells im Allgemeinen und die Qualität sowie die Quantität der benötigten Inputparameter im Speziellen, lassen eine praktikable Anwendung in einer Agrar-Ökobilanz jedoch schwierig erscheinen.

10.1.15 *EU-ROTATE N*

Entwicklung

Dieses Modell wurde Anfang der 2000 Jahre im Rahmen eines EU Projektes von Wissenschaftlern aus sechs verschiedenen Nationen entwickelt (NENDEL 2015) und basiert auf dem Modell *N_ABLE* (siehe 10.1.20).

Überblick

EU-ROTATE N sollte als Werkzeug für die Optimierung vom Einsatz von Stickstoff in gartenbaulichen Anbausystemen in ganz Europa dienen (NENDEL 2009). Die Berechnungen der Stickstoffbilanz basiert auf den Modellen *DAISY* (siehe 10.1.10), *ALFAM* (siehe 10.1.3) und *AMOVOL* (SADEGHI et al. 1988) und beinhalten sowohl die Auswaschungs- als auch die gasförmigen Verluste in einer täglichen Auflösung (RAHN et al. 2007). *EU-ROTATE N* wurde speziell für die Anwendung in Europa entwickelt, beschränkt sich aber auf den Gemüsebau.

Es ist ein dynamisches Model und wurde in Deutschland, Norwegen und Italien getestet. Dabei lieferte es für die Stickstoffdynamik im Gemüsebau nicht zufriedenstellende Ergebnisse (NENDEL 2015). Die aktuelle Version wird von der *University of Warwick* als Download frei zur Verfügung gestellt.

Tabelle 35: *EU-ROTATE* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	-	Nur Gemüse
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

EU-ROTATE N bietet auf Basis anderer Modelle eine ausreichende Stickstoffberechnung, ist aber aufgrund der Beschränkung auf den Gemüsebau für eine allgemeine Anwendung in einer Agrarökobilanz nicht zu gebrauchen.

10.1.16 EXPERT N

Entwicklung

EXPERT N wurde erstmals von ENGEL & PRIESACK (1993) beschrieben und am *Institut für Bodenökologie des Helmholtz Zentrum* in München entwickelt.

Überblick

Es ist ein Software Packet, welches Wasser-, Stickstoff- und Kohlenstoffdynamiken in Boden-Pflanzen-Atmosphären-Systemen simuliert (PRIESACK et al. 2001)

Das Modell zieht zur Simulation der verschiedenen Dynamiken Algorithmen aus den publizierten Modellen *LEACHM* (siehe 10.1.18); *CERES* (siehe 10.1.8); *HYDRUS* (SIMUNKEK et al. 1998); *SUCROS* (VAN LAAR et al. 1992); *NCSOIL* (NICOLARDOT & MOLINA 1994) und *DAISY* (siehe 10.1.10) heran. Der Nutzer kann aus diesen Algorithmen selbst wählen und somit das Modell spezifisch an das Fallbeispiel anpassen (PRIESACK et al. 2001). Es ist somit für den Einsatz in der Forschung gedacht. Die Auswahlmöglichkeit der verschiedenen Kulturen ist abhängig vom gewählten Modellalgorithmus. Weizen, Gerste und Roggen können jedoch von allen Modellen simuliert werden.

Ebenso wird auch die Stickstoffbilanz mit *EXPERT N* je nach zugrundeliegendem Algorithmus unterschiedlich berechnet (STENGER et al.).

EXPERT N ist ein dynamisches, validiertes Model. Es wird vom *Helmholtz Zentrum* als Download frei zur Verfügung gestellt und wird soeben auf Version 5.0 aktualisiert. Das Modell benötigt vergleichsweise wenige Inputparameter. Es bedarf jedoch einer Kalibrierung mittels Messdaten der Bodenprofile, sowie der gasförmigen Emissionen (PRIESACK 2004).

Tabelle 36: EXPERT N Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	~	Je nach Modul wird Mais nicht berechnet
Modellkomponenten verfügbar:	~	Setzt sich aus verschiedenen Modellen zusammen
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

EXPERT N ermöglicht es durch den modularen Aufbau, die Simulation mit verschiedenen Berechnungsmodulen an die Ausgangssituation anzupassen. Diese Möglichkeit setzt eine gewisse Grundkenntnis über die einzelnen Modelle voraus. *EXPERT N* ist daher in erster Linie ein Forschungsmodell und weniger für die Anwendung in einer Agrar-Ökobilanz geeignet.

10.1.17 HERMES

Entwicklung

HERMES wurde am *Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.* entwickelt und erstmals in KERSEBAUM (1995) beschrieben.

Überblick

Es wurde für die praktische Anwendung (Stickstoffdüngempfehlungen, Bewertung der Stickstoffauswaschungen und Evaluierung der Bodennutzung) in der Landwirtschaft, dem Gewässerschutz und der Raumplanung entwickelt (KERSEBAUM 2007). Die Stickstoffberechnung liefert die Verluste durch Auswaschung für ein gewähltes Polygon in jährlicher oder täglicher Auflösung. Zur Berechnung kann man aus den wichtigsten Ackerkulturen, sowie den wichtigsten in Deutschland vorkommenden Bodenarten auswählen (KERSEBAUM 2010).

HERMES wurde an mehreren Standorten in Deutschland (Niedersachsen, Schleswig-Holstein, und Brandenburg), sowie in Niederlande, Kanada, Türkei, Tschechien, Slowakei und Dänemark angewendet. Die aktuelle Version der Software 2.04.1 aus 2010 wird vom ZALF als Download frei zur Verfügung gestellt. Die

benötigten Inputdaten sind vielfach änderbare Standardwerte, welche mit Auswahl des Bodens und der Kultur generiert werden (KERSEBAUM 2010).

Tabelle 37: HERMES Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	-	Das Modell wurde in <i>MONICA</i> integriert
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	-	Nicht ausreichend
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

HERMES wurde speziell für die Berechnung der Stickstoffdynamik unter beschränkter Verfügbarkeit von Daten entwickelt. Es liefert aber nur die Auswaschungsverluste und lässt die gasförmigen Verluste unberücksichtigt. Mit einer Version aus 2010 ist es aktuell und findet auf Ackerflächen eine breite Anwendbarkeit. Es wurde jedoch mittlerweile in das Model *MONICA* (siehe 10.1.19) integriert. Aufgrund der Entwicklung in Deutschland und der Anwendung in vielen Teilen Europas ist auch eine Anwendung in Österreich bzw. eine Anwendung in einer Agrar-Ökobilanz auf österreichische Verhältnisse denkbar. Da es aber an ausreichend Validierungsdaten fehlt und das Modell bereits durch ein neueres Modell ersetzt wurde, ist es im Sinne dieser Arbeit nicht mehr aktuell und erfüllt somit die Mindestkriterien nicht.

10.1.18 LEACHM

Entwicklung

LEACHN ist das Stickstoffmodul des Modells *LEACHM* (*Leaching Estimation And CHemistry Model*). Dies wurde Ende der 80er Jahre am *Water Resources Institute* der *Cornell Univeristy* in New York entwickelt und von WAGENET & HUTSON (1989) beschrieben.

Überblick

Es wurde entwickelt um die Flüsse von Wasser, gelösten Nährstoffen, sowie von Chemikalien in Zusammenhang mit biologischen Prozessen zu simulieren. Die Stickstoffberechnung berücksichtigt die N-Mineralisation und Transformation, Auswaschung, gasförmige Verflüchtigung und den Pflanzbedarf (LIDÓN et al. 2013).

Tabelle 38: LEACHM Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:		Nicht beurteilt
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Mangels ausreichender Literatur, kann über die Einschränkungen des Modells, vorhandene Validierungsdaten, sowie der Verfügbarkeit, hier keine Aussage getroffen werden.

10.1.19 MONICA

Entwicklung

*MONICA (M*odel for *N*itrogen and *C*arbon dynamic) ist eine Weiterentwicklung des Modells *HERMES* (siehe 10.1.17) und wurde ebenso am *Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.* entwickelt.

Überblick

MONICA erweitert das Modell *HERMES* um den Kohlenstoffkreislauf im Boden und der Pflanze (NENDEL et al. 2011). Dabei wurde der simple Algorithmus zur Berechnung der Stickstoffmineralisation aus organischer Substanz durch den umfangreichen Ansatz des dänischem Modells *DAISY* (siehe 10.1.10) ersetzt. *MONICA* berechnet sowohl die Stickstoffmineralisation aus Ernterückständen oder Wirtschaftsdüngern, die NH_3 -, N_2O - und CO_2 -Emission aus dem Boden, die

Denitrifikation und die Auswaschung von Nitrat in tiefere Bodenschichten und gibt die Ergebnisse in täglichen Zeitschritten wieder.

Bei der näheren Modellbetrachtung (siehe 6.2.2.2) stellte sich jedoch heraus, dass die NH₃-, und N₂O-Emissionen zwar im Modell vorgesehen sind, jedoch noch nicht implementiert wurden.

Validierungsdaten zu europäischen Bedingungen sind vorhanden. Das *Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.* stellt das Model sowie die Berechnungsgrundlagen als Download frei zur Verfügung (NENDEL 2012).

Tabelle 39: MONICA Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 1.2
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:	✓	<50

Bemerkung

MONICA gibt eine Vollständige N-Berechnung wieder, die Modelkomponenten sind frei verfügbar und es liegen Validierungsergebnisse für europäische Standorte vor. Es erfüllt somit die definierten Mindestkriterien.

Bei der detaillierten Betrachtung des Modells stellte sich jedoch ein Defizit bei den Outputdaten heraus (siehe dazu die detailliertere Betrachtung unter 6.2.2.2).

10.1.20 N_ABLE

N_ABLE wurde am *Horticulture Research International* in Wellesbourne (UK) entwickelt und erstmals 1989 beschrieben (YANG et al. 2002). Dabei simuliert es zumindest zum Teil die N-Dynamik in Hinblick auf den Pflanzenbedarf (YANG et al. 2000).

Tabelle 40: N_ABLE Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:		Nicht beurteilt
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Leider gibt es nicht ausreichend Literatur, um das Modell an dieser Stelle weiter zu bewerten.

10.1.21 NEMIS

Entwicklung

NEMIS ist ein reines Denitrifikationsmodell, welches von HÉNAULT & GERMON (2000) entwickelt wurde. Es ist jenes Model, welches in *STICS* (siehe 10.1.28) als Grundlage für die Stickstoffberechnung herangezogen wird.

Überblick

NEMIS wurde mit dem Ziel entwickelt, mit möglichst wenigen Ausgangsdaten eine Schätzung der Denitrifikation auf Basis der Bodentemperatur, des Bodenstickstoffgehaltes und des bodenwassergefüllten Porenvolumens abzugeben. Es liefert einen gesamt Stickstoffverlust des Feldstückes in täglicher Auflösung. *NEMIS* kann mittels Änderung der Kalibrierungsdaten an verschiedene Böden angepasst werden (HÉNAULT & GERMON 2000).

Tabelle 41: NEMIS Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:		Nicht beurteilt
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Aus Mangel an ausreichender Literatur kann an dieser Stelle keine präzisere Modelbeschreibung erstellt werden.

10.1.22 NLEAP

Entwicklung

Das Programmpaket *NLEAP* (*Nitrate Leaching and Economic Analysis Package*) wurde erstmals von SHAFFER et al. (1991) beschrieben und am *United States Department of Agriculture* entwickelt.

Überblick

Die Anwenderzielgruppe von *NLEAP* sind Landwirte, Personen des landwirtschaftlichen Umfeldes oder Behörden um das Nitratauswaschungspotential unter landwirtschaftlichen Kulturen zu schätzen (SHAFFER et al. 1991). Dazu wird die Denitrifikation, die gasförmigen Verluste in Form von Ammoniak (NH₃), die Mineralisation von organischem Material, die Nitrifikation und die Mineralisationshemmung in Zusammenhang mit Ernterückständen, Mist und organischem Material in der oberen Bodenschicht berücksichtigt (ERSAHIN & KARAMAN 2001).

NLEAP ist eine dynamisches, validiertes Modell (DELGADO et al. 2000). Die aktuelle Version (4.2) ist mit einer GIS Software verknüpft und kann auf verschiedene US-Datensätze zur Erstellung der Boden- und Klimaparameter zugreifen (DELGADO et al.). Es wird vom *Agricultural Research Service* laufend gewartet und als Download frei zur Verfügung gestellt.

Tabelle 42: NLEAP Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 4.2 aus 2010
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:	-	
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Dieses Modell berechnet den Stickstoffverlust in Form der gasförmigen Verflüchtigung, sowie durch Auswaschung. Es ist ein aktuelles Modell und wurde auch in Teilen Europas getestet. Ausreichend Validierungsdaten liegen jedoch nicht auf. *NLEAP* beschränkt sich nicht auf bestimmte Kulturen oder Bodentypen. Für eine Anwendung außerhalb den USA kann man jedoch nicht auf die GIS unterstützte Bodenkartierung zugreifen.

10.1.23 N-SIM

Überblick

Das Modell wurde entwickelt um den Stickstoffhaushalt in bepflanzten Böden zu simulieren. Dabei dient es in erster Linie dem Bearbeitungsmanagement um eine quantitative Richtlinie für eine Stickstoffdüngung vorzugeben. Es basiert auf dem Modell *CERES-Wheat* (siehe 10.1.8) (SCHAAF et al. 1995). In der Stickstoffberechnung werden auch die gasförmigen Verluste, sowie die Auswaschungsverluste berücksichtigt. Dies dient aber in erster Linie der Anpassung der Düngeempfehlung. Das Modell basiert, wie bereits erwähnt, auf dem Modell *CERES-Wheat*. Somit liegt die Hauptanwendung auf der Kultur Weizen.

N-SIM wurde von SCHAAF et al. (1995) an verschiedenen deutschen Standorten getestet. Über die Verfügbarkeit und Aktualität des Modells ist auf Grund von unzureichender Literatur keine Aussage zu treffen.

Tabelle 43: NSIM Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	-	Hauptsächlich Weizen
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt;
Aktualität:		Nicht beurteilt;
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt;
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt;
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt;
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt;

Bemerkung

N-SIM wurde entwickelt um eine Richtung in der Stickstoffdüngempfehlung auf Basis einfach zu ermittelnder Inputparameter für die Praxis abzugeben. Aufgrund der fehlenden Informationen bezüglich Herkunft, Verfügbarkeit und Aktualität, sowie Details über die Stickstoffberechnung, entspricht es nicht den Mindestkriterien.

10.1.24 REPRO

Entwicklung

Das Modell *REPRO* (*REPRO*duction of soil fertility) wurde an der *Martin-Luther-Universität* in Halle-Wittenberg, sowie an der *TU München* entwickelt und in HÜLSBERGEN (2003) beschrieben.

Überblick

Es dient als Umwelt- und Betriebsmanagementsystem für den Einsatz in der Wissenschaft, Praxis und Beratung. Dabei liegt der Schwerpunkt in der Darstellung der landwirtschaftlichen Betriebssysteme anhand vernetzter Stoff- und Energieflüsse sowie der Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen (KÜSTERMANN et al. 2006). Die Stickstoffemissionen werden über Faktoren der Stickstoffzufuhr berechnet. Dabei werden sowohl die Auswaschungsverluste, wie auch die gasförmigen Verluste berücksichtigt (KÜSTERMANN et al. 2008). Es bietet eine breite Anwendungsmöglichkeit bezüglich der Bodentypen und Kulturarten.

REPRO wurde für viele deutsche Standorte validiert. Die Software wird vom Privaten *Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH* verkauft und betreut. Eine freie Nutzung ist nicht vorgesehen.

Tabelle 44: REPRO Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:		Nicht beurteilt
Modellkomponenten verfügbar:	-	
Aktualität:		Nicht beurteilt
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

REPRO bietet eine gesamtlandwirtschaftliche Berechnung. Dies in erster Linie um die Wirtschaftlichkeit der Betriebe zu optimieren. Dabei liefert es die notwendigen Stickstoffparameter. Auch die Aktualität und die breiten Anwendungsmöglichkeiten, sowie die Verfügbarkeit von deutschen Validierungsdaten würden für die Anwendung in einer Agrar-Ökobilanz sprechen. Da das Modell aber nicht frei verfügbar ist, scheidet es aufgrund der Anforderungen dieser Arbeit aus.

10.1.25 RZWQM

Entwicklung

RZWQM (Root Zone Water Quality Model) wurde in den 1990er Jahren von einem Team aus Wissenschaftlern der *Agricultural Systems Research Unit* des *United States Department of Agriculture* entwickelt.

Überblick

Es simuliert die wichtigsten physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse in landwirtschaftlich genutzten Böden. *RZWQM* simuliert die Stickstoff Mineralisation, Nitrifikation, Denitrifikation und Ammoniak Verflüchtigung. Diese werden in einer täglichen Auflösung simuliert (MA et al. 2001). Das Modell ist für die Simulation von Getreide, Soja und Weizen parametrisiert. Sollte die Stickstoffdynamik unter anderen Kulturen simuliert werden, müssen die notwendigen Parameter selbst eingestellt werden. In Bezug auf den Boden ist eine detaillierte Beschreibung der Bodenprofile nötig um genaue Ergebnisse zu erzielen (AGRICULTURAL SYSTEMS RESEARCH UNIT 2014).

RZWQM wurde vielfach validiert (Yu et al. 2006). Das Modell 2 wurde weiterentwickelt, um es mit dem Modell *DSSAT 4.0* (siehe 10.1.13) zu verknüpfen. Für registrierte User stellt das *Agricultural Research Service* die aktuelle Version 2.42 aus 2013 als Download frei zur Verfügung.

Tabelle 45: *RZWQM* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	-	Kein Mais
Modellkomponenten verfügbar:		Nicht beurteilt
Aktualität:	✓	
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:	-	Keine für Europa
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

RZWQM liefert die nötigen Stickstoffverluste und ist mit der aktuellen Version aus 2013 aktuell. Eine Anwendung ohne ausreichende Kenntnisse des Bodens und der Kultur bringt jedoch ungenaue Ergebnisse. Des Weiteren fehlen ausreichende Validierungsdaten für den Mitteleuropäischen Raum.

Es entspricht somit nicht den definierten Mindestkriterien.

10.1.26 SALCA NO3

Entwicklung

Das Modell *SALCA NO3* ist Teil der Ökobilanzmethode *SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment)* der schweizer Forschungseinrichtung *Agroscope* und wurde in RICHNER et al. (2006) erstmals beschrieben. Die Stickstoffberechnung basiert dabei auf dem Ansatz des Modells *STICS* (siehe 10.1.28).

Überblick

Es wurde für die Schätzung der Nitratauswaschung ins Grundwasser aus landwirtschaftlich genutzten Böden unter Berücksichtigung der Bewirtschaftung entwickelt. Dabei berücksichtigt das Modell nur die Nitratauswaschungsverluste und stellt diese in monatlicher Auflösung dar. *SALCA NO3* kann auf eine die wichtigsten

Ackerkulturen, sowie auf Grünland angewendet werden. Bei ausreichender Kenntnis der wichtigsten Bodenparameter gibt es auch hier keine Einschränkungen (RICHNER et al. 2014).

SALCA NO3 ist eine Methode die Nitratverluste ins Grundwasser zu quantifizieren. Als Teil der Ökobilanz *SALCA* ist es somit nicht als Software, wie viele andere Modelle, verfügbar. Die Berechnungsmethode wird aber samt der einzelnen Berechnungsschritte und Faktoren in den aktuellen Berichten frei zur Verfügung gestellt.

Tabelle 46: *SALCA NO3* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 2 aus 2014
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	-	
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Das Modell wurde speziell für die Ökobilanzierung in der Schweiz, sowie deren Nachbarländer entwickelt und bereits erfolgreich angewendet (AGROSCOPE 2015).

Im Zuge des Projektes *FARMLIFE* wurde eine Anwendung von *SALCA*, inklusive *SALCA NO3*, in Österreich durchgeführt und bewertet (HERNDL et al. 2015).

SALCA NO3 schätzt dabei nur die Nitratverluste. Die gasförmigen Verluste werden nicht erfasst (RICHNER et al. 2014). Des Weiteren fehlen zum aktuellen Zeitpunkt auch ausreichende Validierungsdaten. Es entspricht daher nicht den gesetzten Mindestkriterien.

10.1.27 SIMWASER

Entwicklung

Das Modell *SIMWASER* wurde 1988 vom *Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt* der *Bundesanstalt für Wasserwirtschaft* in Österreich entwickelt (STENITZER 1988). Es ist ein numerisches Modell zur Simulation der Boden-Wasser-Bilanz und des Ertrages (STENITZER & MURER 2003).

Überblick

SIMWASER beschränkt sich auf den Bodenwasserhaushalt und das Pflanzenwachstum. Es findet keine Berechnung der Stickstoffdynamik statt. Diese findet im auf *SIMWASER* aufbauenden Modell *STOTRASIM* (siehe 10.1.29) statt. Validierungsdaten sind für verschiedene Standorte in Österreich sowie auch in Niedersachsen vorhanden (STENITZER & MÜLLER 1996). Das Modell kann beliebige Fruchtfolgen über jeden beliebig langen Zeitraum hindurch simulieren. Des Weiteren gibt es keine Einschränkungen bezüglich der möglichen Bodentypen auf welche das Modell angewendet werden kann (STENITZER & MÜLLER 1996).

SIMWASER ist nicht öffentlich verfügbar, wird jedoch vom *Österreichischen Bundesamt für Wasserwirtschaft* laufend verwendet.

Tabelle 47: *SIMWASER* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	-	Nicht öffentlich verfügbar
Aktualität:	✓	
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung:

Aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit, sowie einer fehlenden eigenen Stickstoffberechnung, kommt das Modell für eine nähere Betrachtung in dieser Arbeit nicht in Frage.

10.1.28 STICS

Entwicklung

STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour le Cultures Standard) wurde 1996 in Frankreich am *French National Institute for Agricultural Research (INRA)* entwickelt (BRISSEON et al. 2003).

Überblick

Das Modell simuliert das Boden-Pflanzen-System über einen oder mehrere Kulturzyklen. Dabei werden sowohl landwirtschaftliche Variablen (z.B.: Ertrag), als auch Umweltvariablen (z.B.: Wasser- und Stickstoffverluste) berechnet (BRISSEON et al. 2003). *STICS* ist sowohl auf Grünland als auch auf eine Vielzahl an Ackerkulturen anwendbar (BERTUZZI 2014).

Es ist ein dynamisches Modell und wurde bereits in Österreich und Tschechien mit Erfolg getestet (ŽALUD et al. 2006). *STICS* wird vom *INRA* laufend aktualisiert und für registrierte User frei als Download zur Verfügung gestellt.

Tabelle 48: STICS Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	✓	
Aktualität:	✓	Aktuelle Version 8.41 aus 2008
Schlagbezogene Auflösung:	✓	
Validierungsdaten:	✓	
Verfügbarkeit der Parameter:		Nicht beurteilt
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Dieses Modell berechnet die nötigen Stickstoffparameter und wird laufend verwendet. Aufgrund der breiten Anwendbarkeit bezüglich der Kulturen, der Verfügbarkeit der Modellkomponenten, sowie ausreichender Validierungsdaten, erfüllt *STICS* die Mindestkriterien und wird somit einer näheren Betrachtung unterzogen.

10.1.29 STOTRASIM

Entwicklung

STOTRASIM wurde 1998 vom *Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt* der *Bundesanstalt für Wasserwirtschaft* in Österreich entwickelt (FEICHTINGER 1998b) und ist vollständig an das Modell *SIMWASER* (siehe 10.1.27) gekoppelt.

Überblick

Es simuliert die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik von landwirtschaftlich genutzten Böden (GROENENDIJK et al. 2014) und wurde bereits in der Region Südoststeiermark erfolgreich angewendet (FANK et al. 2006) und in FEICHTINGER (1998a) dokumentiert. *STOTRASIM* beschreibt die Stickstoffdynamik für ein Bodenprofil in eindimensionaler, vertikaler Richtung, wobei das Hauptaugenmerk auf die Quantifizierung der Nitratauswaschung liegt (FEICHTINGER 1998b). Die gasförmigen Stickstoffverluste werden nicht angeführt. Es ist für Ackerbau und Grünlandnutzung ausgelegt und ist für die wichtigsten Kulturen parametrisiert (FEICHTINGER).

Tabelle 49: *STOTRASIM* Mindestkriterien

Anwendbarkeit auf wichtige Ackerkulturen:	✓	
Modellkomponenten verfügbar:	-	Nicht öffentlich verfügbar
Aktualität:	✓	
Schlagbezogene Auflösung:		Nicht beurteilt
Validierungsdaten:		Nicht beurteilt
Verfügbarkeit der Parameter:	✓	
Anzahl Inputparameter:		Nicht beurteilt

Bemerkung

Das Modell wird vom *österreichischen Bundesamt für Wasserwirtschaft* laufend verwendet. Es ist jedoch, wie das Modell *SIMWASER*, nicht öffentlich verfügbar und wird somit im Rahmen dieser Arbeit nicht näher beschrieben.

10.2 Inputparameter zum Simulationslauf von STICS

10.2.1 Global parameters – General parameters

The image shows a screenshot of the STICS parameter configuration window, titled "D:\JavaSTICS-v131-stics-v841\config\param_gen.xml". The window contains a tree view of parameters on the left and a list of parameter values on the right. The parameters are organized into several categories:

- Simulation options:**
 - Nitrogen stress activation: yes
 - Water stress activation: yes
 - Optimum mineralisation in bare soil: no
 - Smoothering of initial profiles: no
 - Depth for mineral N and water stocks calculation: profsol
 - Climatic series: reset
 - Biomass and yield conservation after harvest: yes
 - Take account of mulch effect (drying out of soil surface): yes
 - Fruit load: all fruits (including ripe ones)
 - Hourly microclimate: yes
 - Scientific writing in st2 and report: no
 - Separator spaces in report: yes
 - Activation of model sensitivity analysis: no
- flagecriture:** 31
- Radiation interception:**
 - parsurg: 0.48000
- Shoot growth:**
 - coefb: 0.08150
 - proprac: 0.20000
 - y0msrac: 0.70000
 - khaut: 0.70000
- Root growth:**
 - dacohes: 0.70000
 - daseuilbas: 1.40000
 - daseuilhaut: 2.00000
- Water absorption and nitrogen content of the plant:**
 - beta: 1.40000
 - lvopt: 0.50000
 - rayon: 0.02000
 - difN: 0.04500
 - concr: 0.02000
 - pINmin: 10.00000
 - irrlv: 20.00000
 - QNpltminINN: 0.00000
- Nitrogen fixation by legumes:** nodule activity
 - critical nitrogen
 - nodule activity
 - mineral nitrogen inhibition: nitrogen amount
- Soil C and N processes and fertiliser losses**
- Soil hydrology and compaction**
- Soil tillage if soil compaction activated**
- Typology of pebbles fertilisers and residues**

The window also features "Save" and "Close" buttons on the right side.

Abbildung 11: STICS – Parameter: General parameters (Teil 1/4)

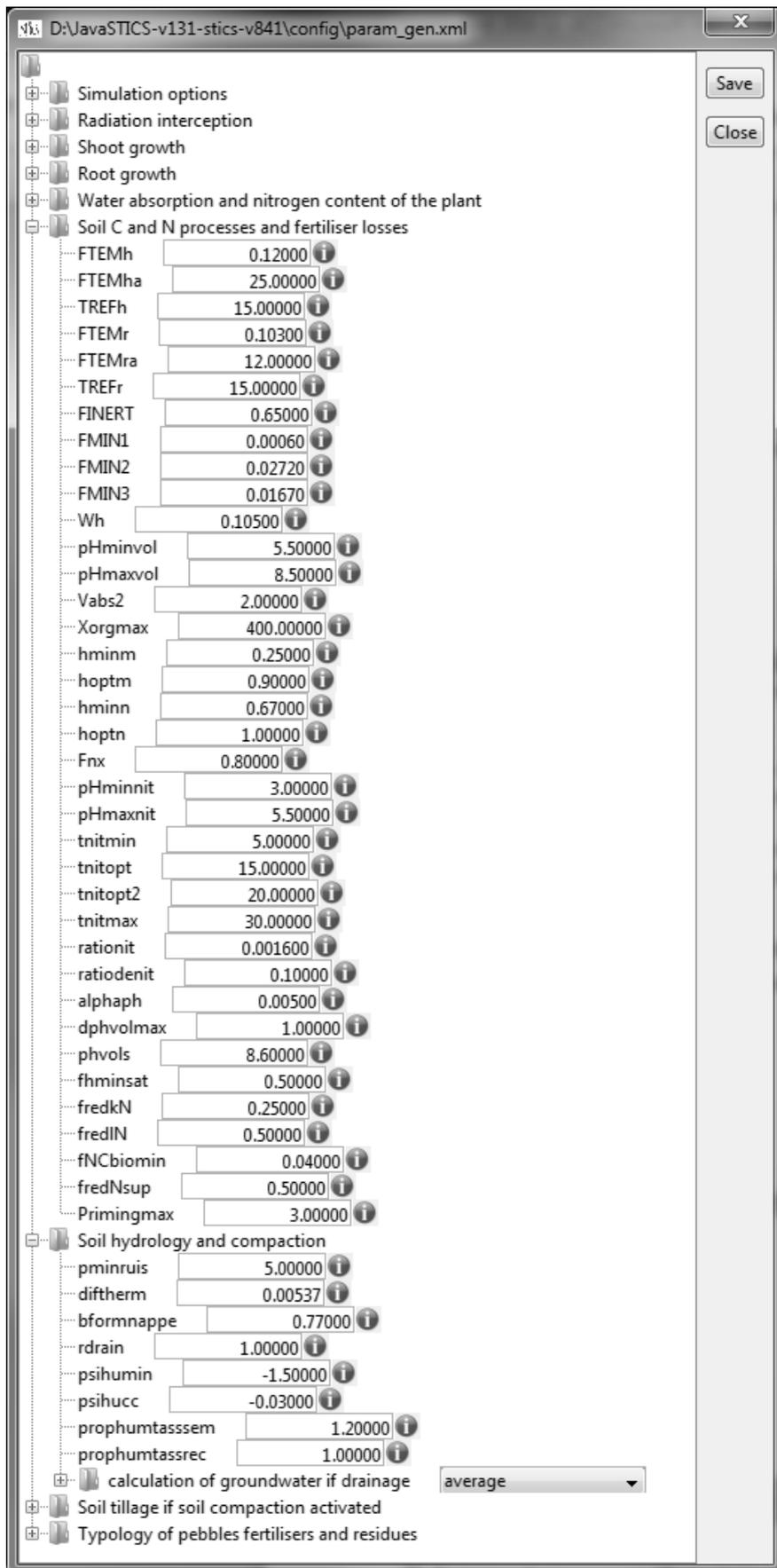


Abbildung 12: STICS – Parameter: General parameters (Teil 2/4)

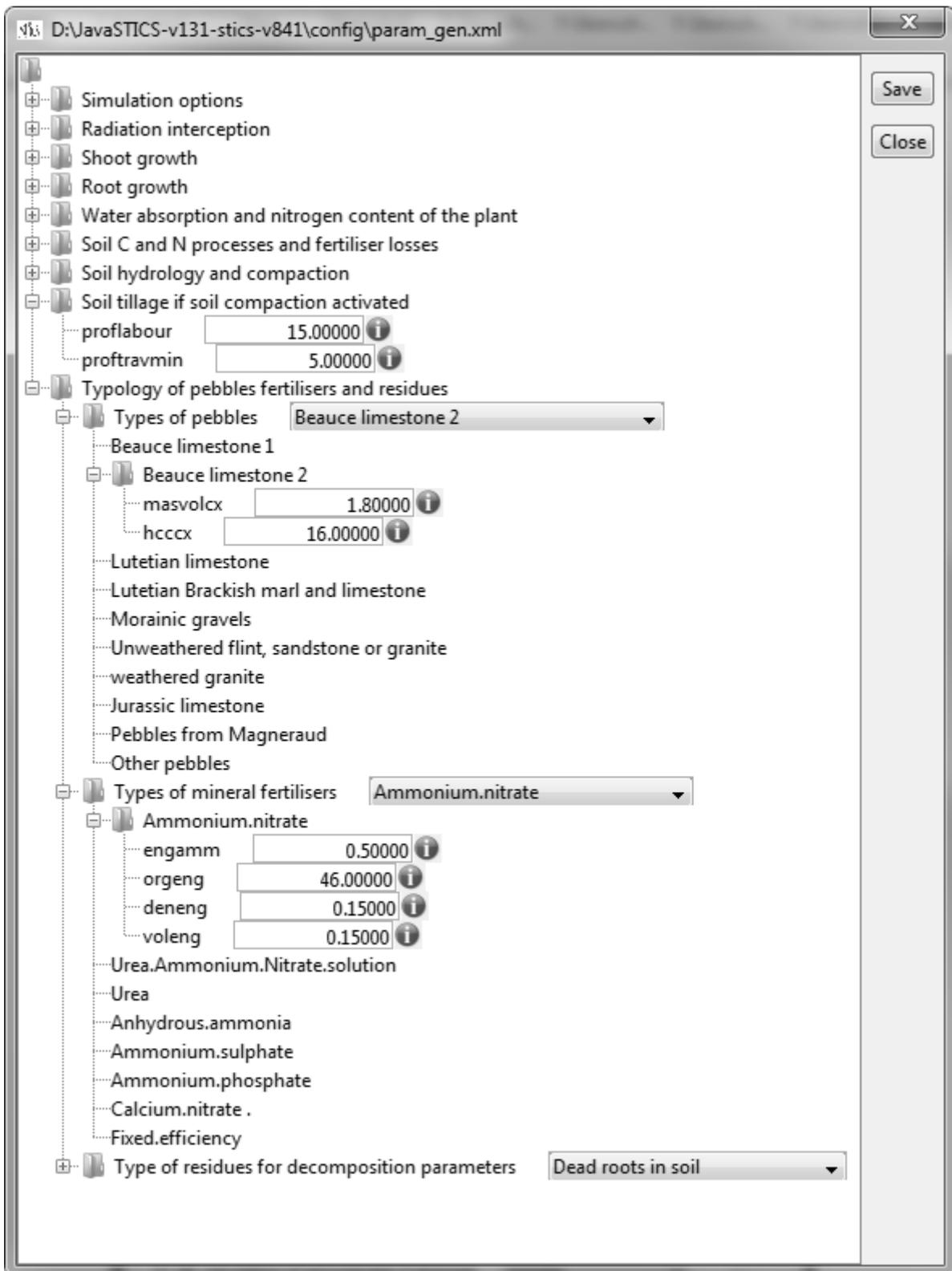


Abbildung 13: STICS – Parameter: STICS – Parameter: General parameters (Teil 3/4)

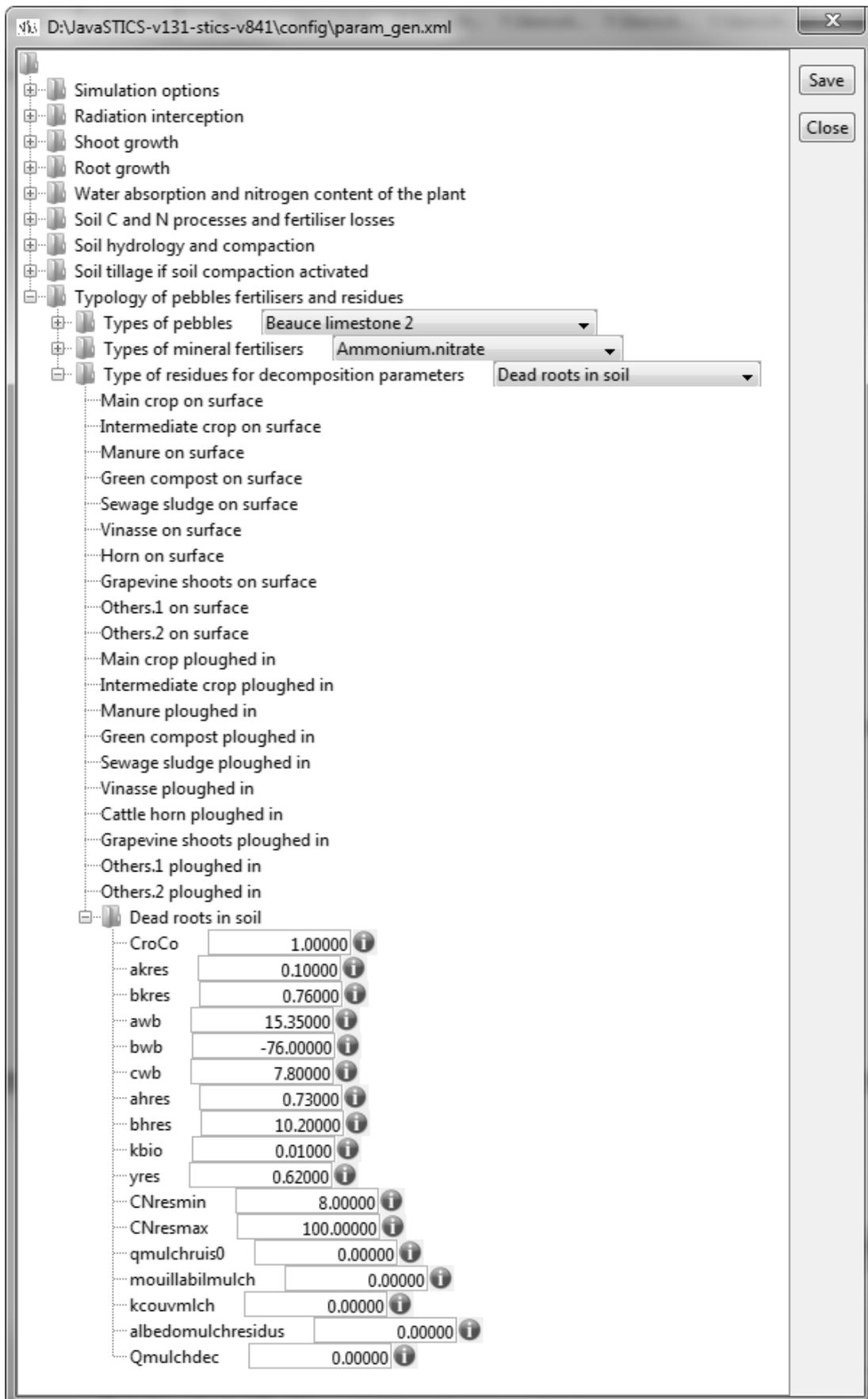


Abbildung 14: STICS – Parameter: General parameters (Teil 4/4)

10.2.2 Local parameters – Initializations

Initialization file editing - MArun1_ini.xml

Principal plant Associated plant Soil

Beginning stage

snu lax

plt drp

lev sen

amf dor

Plant initialization

lai0

masec0

zrac0

magrain0

QNplante0

resperenne0

Roots initialization

densinital

1

2

3

4

5

Open...

Save...

Close

Abbildung 15: STICS – Parameter: Initializations (Teil 1/3)

Initialization file editing - MArun1_ini.xml

Principal plant Associated plant Soil

Beginning stage

snu lax

plt drp

lev sen

amf dor

Plant initialization

lai0

masec0

zrac0

magrain0

QNplante0

resperenne0

Roots initialization

densinital

1

2

3

4

5

Open...

Save...

Close

Abbildung 16: STICS – Parameter: Initializations (Teil 2/3)

Initialization file editing - MArun1_ini.xml

Principal plant Associated plant Soil

Horizons	hinit	NO3init	NH4init
1	0	7.5	4.5
2	0	2.5	1.5
3	0	14.0	8.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0

Note: hinit = 0 is a code meaning that hinit = hccf (field capacity)

Open...

Save...

Close

Abbildung 17: STICS – Parameter: Initializations (Teil 3/3)

10.2.3 Local parameters – Soils

The screenshot shows the STICS software interface for editing soil parameters. The main window displays a tree view of parameters for 'solmais' under 'MArun1'. Parameters include numerical values for various soil properties and dropdown menus for categorical settings like 'pebbles', 'macroporosity', 'cracks', 'artificial drainage', 'capillary rise', 'nitrication', and 'denitrification'. A table at the bottom right summarizes parameters for five soil layers.

	epc	HCCF	HMINF	DAF	cailloux	typecailloux	infil	epd
layer 1	30.00	25.00	10.00	1.16	0.00	1	2.28	10
layer 2	10.00	25.00	10.00	1.16	0.00	1	4.29	10
layer 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	50.00	10
layer 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	50.00	10
layer 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	50.00	10

Abbildung 18: STICS – Parameter: Soils

10.2.4 Local parameters – Crop management

D:\JavaSTICS-v131-stics-v841\Masterarbeit\MARun1_tec.xml

Save Close

supply of organic residus

interventions Intervention(s) number : 0 Add

julres coderes qres Crespc CsurNres Nminres eaures

soil tillage

interventions Intervention(s) number : 2 Add

jultrav	profres	proftrav
283	0.00	25.00
630	0.00	25.00

sowing

iplt0 284

profsem 4.00000

densitesem 350

variete 4

planting structure (if radiative transfer) no

rules to prescribe the sowing date no

phenological stages

forcing no

irecbutoir 552

irrigation

fertilisation

engrais 1

concirr 0

date of fertilisation julian days

splitting fertilisation amounts in absolute value

mineral nitrogen inputs Intervention(s) number : 3 Add

location of mineral nitrogen inputs at soil surface

ressuite straw+roots

harvest

method of harvest cutting

harvest decision physiological maturity

Decision of harvest for associated crops Maturity of the both (2 dates)

rules of harvest/moisture status of the soil no

special techniques

cut crop no

mulch no

topping no

thinning no

leaf removal no

pruning no

trellis system no

greenhouse crop no

soil modification by techniques (compaction-fragmentation)

activation fragmentation no

activation compaction sowing/harvest no

nb of layers affected by the compaction 2

Abbildung 19: STICS – Parameter: Crop management

D:\JavaSTICS-v131-stics-v841\Masterarbeit\MArun1_tec.xml

- supply of organic residus
- soil tillage
- sowing
- phenological stages
- irrigation
 - effirr ⓘ
 - automatic calculation of irrigations ▼
 - yes
 - no
 - date of irrigation ▼
 - water inputs Intervention(s) number : 133

julapI_or_sum...	amount ⓘ	
145	7.3	🗑️
146	6.3	🗑️
147	8.6	🗑️
152	3.6	🗑️
160	5.7	🗑️
161	3.6	🗑️
165	3	🗑️
166	6	🗑️
167	14	🗑️
171	3.7	🗑️
175	7.7	🗑️
179	3.4	🗑️
180	9.4	🗑️
193	3.8	🗑️
194	13.5	🗑️
199	3.3	🗑️
200	2.7	🗑️
208	5.7	🗑️
215	5.2	🗑️
216	10.5	🗑️
217	3.3	🗑️
229	7	🗑️
236	10	🗑️
248	10.3	🗑️
251	22.5	🗑️
284	4	🗑️
285	5	🗑️
287	3	🗑️
290	2	🗑️
292	4	🗑️
294	10.4	🗑️
298	9.9	🗑️
318	5	🗑️
332	13.2	🗑️
333	13.6	🗑️
334	5.3	🗑️
448	16.2	🗑️
451	1	🗑️
454	0.4	🗑️
455	11.9	🗑️
456	3.1	🗑️
458	2.4	🗑️
460	6.6	🗑️
461	4.6	🗑️
463	0.5	🗑️

Save

Close

Abbildung 20: STICS – Parameter: Crop management - irrigation (Teil 1/3)

ID	Value	Icon
461	4.6	🗑️
462	0.5	🗑️
463	0.3	🗑️
468	1	🗑️
470	0.1	🗑️
471	0.9	🗑️
472	8.3	🗑️
473	0.3	🗑️
475	0.9	🗑️
476	7.7	🗑️
478	1	🗑️
480	9.6	🗑️
481	11.9	🗑️
486	9.9	🗑️
489	0.4	🗑️
490	2.6	🗑️
491	0.4	🗑️
492	4.4	🗑️
493	6.6	🗑️
495	5.6	🗑️
498	0.6	🗑️
500	4.2	🗑️
502	0.5	🗑️
508	14.1	🗑️
509	10	🗑️
510	12	🗑️
511	7.9	🗑️
514	2.3	🗑️
515	8	🗑️
516	1	🗑️
517	5.4	🗑️
518	1.1	🗑️
519	0.2	🗑️
520	0.1	🗑️
521	11.1	🗑️
522	0.2	🗑️
523	0.1	🗑️
525	1.2	🗑️
528	6.3	🗑️
530	3	🗑️
532	3	🗑️
536	20.2	🗑️
537	3.7	🗑️
539	1	🗑️
542	7.7	🗑️
545	6	🗑️
549	10.6	🗑️
550	4.3	🗑️
551	6.7	🗑️
553	5.1	🗑️
554	0.1	🗑️
555	5.6	🗑️
556	4.2	🗑️
557	2.7	🗑️
559	0.5	🗑️
560	8.8	🗑️
561	3.2	🗑️

Abbildung 21: STICS – Parameter: Crop management - irrigation (Teil 2/3)

D:\JavaSTICS-v131-stics-v841\Masterarbeit\MARun1_tec.xml

556	4.2	
557	2.7	
559	0.5	
560	8.8	
561	3.2	
562	1.2	
563	5.5	
564	11.8	
567	6	
577	5.7	
578	1.9	
580	3.5	
581	15.5	
582	2.1	
583	8	
586	1.7	
598	7	
602	10	
613	8.3	
615	4.3	
616	22.5	
620	1.6	
558	0.1	
626	2.2	
635	8.3	
637	5	
658	4.9	
661	3.9	
662	10.4	
663	1.4	
664	9.8	
670	1.3	
675	2	
682	5.5	
684	3.2	
689	2.6	
693	15.3	
696	16.8	

location of irrigation: above foliage

profmes: 120.00000

fertilisation

harvest

special techniques

soil modification by techniques (compaction-fragmentation)

Save

Close

Abbildung 22: STICS – Parameter: Crop management - irrigation (Teil 3/3)

10.2.5 Local parameters – Climate

Format weather file

File properties

File :

Change weather file name : Number of headlines :

Separator : ; Space

Columns and variables matching

Please fill in fields with column numbers corresponding to requested data (Penman PET, wind and vapour pressure are optional) :

Year : Julian day :

Month : Day in month :

Minimum temperature : ° Celsius Maximum temperature : ° Celsius

Global radiation : MJ/m2 CO2 :

Penman PET : mm Rainfall : mm

Wind : m/s Vapour pressure : Relative humidity in %

Partial format Date of beginning : Date of end :

Use CO2 value

Abbildung 23: STICS – Parameter: Formatting a weather file

Weather station

- zr: 2.50000
- NH3ref: 0.00000
- latitude: 45.00000
- patm: 1000.00000
- aclim: 20.00000
- climate
 - reading OR calculation of PET: PET-Penman_calculation
 - climate change: no
 - climate in altitude: no
- Microclimate
 - ra: 50.00000
 - albveg: 0.23000
 - aangst: 0.18000
 - bangst: 0.62000
 - corecTrosee: 1.00000
- calculation of crop temperature: empirical relation
- calculation of net radiation: Brutsaert
- climate under a shelter
 - coefdevil: 0.70000
 - aks: 6.00000
 - bks: 0.50000
 - cvent: 0.16000
 - phiv0: 0.00400
 - coefrnet: 0.59000

Abbildung 24: STICS - Parameter: Weather station

Tabelle 50: STICS - Parameter: Wetterdatei

year	month	day in month	Julian day	minimum temperature	maximum temperature	global radiation	Penman PET	rainfall	wind	vapour pressure	CO2 content
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011	1	1	1	-2.8	3.0	3.35		0	4.8	83.0	
2011	1	2	2	-0.2	3.3	3.35		0	3.7	80.8	
2011	1	3	3	-2.6	3.2	3.35		0.1	3.1	80.5	
2011	1	4	4	-9.1	-1.9	3.35		0	1.7	97.1	
2011	1	5	5	-4.6	-3.4	3.35		0	3.6	87.8	
2011	1	6	6	-4.4	0.5	3.35		0	3.6	90.2	
2011	1	7	7	-1.0	4.6	3.35		0	1.4	96.8	
2011	1	8	8	-1.6	3.0	3.35		0.5	0.7	99.9	
2011	1	9	9	-1.8	1.4	3.35		0	1.4	100.0	
2011	1	10	10	0.9	3.0	3.35		0.8	1.7	98.4	
2011	1	11	11	1.6	4.2	3.35		0	2.2	99.5	
2011	1	12	12	1.9	9.0	3.35		0	3.5	84.2	
2011	1	13	13	2.7	10.0	3.35		15.0	1.1	97.3	
2011	1	14	14	9.9	13.5	3.35		0.2	5.0	85.2	
2011	1	15	15	7.3	11.5	3.35		0.2	4.6	74.1	
2011	1	16	16	-0.4	13.8	3.35		0	0.4	89.7	
2011	1	17	17	-2.7	0.8	3.35		0	0.7	99.9	
2011	1	18	18	-0.8	8.9	3.35		0	0.7	97.2	
2011	1	19	19	1.2	7.9	3.35		1.6	2.4	91.3	
2011	1	20	20	-0.9	4.5	3.35		0.3	3.7	81.7	
2011	1	21	21	-1.5	2.3	3.35		0	3.3	79.7	
2011	1	22	22	-1.9	-0.2	3.35		0	3.6	68.4	
2011	1	23	23	-3.4	1.4	3.35		0.1	5.2	68.4	
2011	1	24	24	-11.1	0.9	3.35		2.5	1.6	89.8	
2011	1	25	25	-9.4	2.9	3.35		0.9	1.5	95.0	
2011	1	26	26	-1.4	3.1	3.35		2.6	2.6	91.8	

2011	1	27	27	-3.6	-0.7	3.35		0	1.1	98.6	
2011	1	28	28	-6.9	0.0	3.35		0	1.4	95.1	
2011	1	29	29	-9.9	-5.3	3.35		0	1.8	100.0	
2011	1	30	30	-8.2	-2.9	3.35		0	2.5	96.1	
2011	1	31	31	-5.0	-2.9	3.35		0	2.2	89.6	
2011	2	1	32	-5.4	-3.3	7.25		0	1.7	91.7	
2011	2	2	33	-4.8	-1.1	7.25		0	4.4	78.9	
2011	2	3	34	-8.0	2.6	7.25		0.4	1.2	88.5	
2011	2	4	35	-3.6	9.2	7.25		0	2.7	78.9	
2011	2	5	36	6.6	10.9	7.25		0	8.8	61.2	
2011	2	6	37	0.6	13.1	7.25		0	4.9	63.4	
2011	2	7	38	-1.9	16.8	7.25		0	2.0	65.8	
2011	2	8	39	-4.4	14.2	7.25		0	2.3	77.3	
2011	2	9	40	-3.9	9.4	7.25		0	1.2	81.1	
2011	2	10	41	-6.7	7.8	7.25		0	0.8	90.0	
2011	2	11	42	-2.5	12.5	7.25		1.2	4.3	84.5	
2011	2	12	43	-3.3	11.1	7.25		2.2	3.7	71.6	
2011	2	13	44	-2.6	0.4	7.25		0.2	1.9	82.4	
2011	2	14	45	-0.6	0.4	7.25		0	2.3	91.2	
2011	2	15	46	-1.9	-0.1	7.25		0	3.7	65.5	
2011	2	16	47	-2.0	-0.1	7.25		0	3.3	99.4	
2011	2	17	48	-0.3	1.3	7.25		0	3.5	96.5	
2011	2	18	49	0.8	3.3	7.25		0	2.1	95.6	
2011	2	19	50	0.2	3.4	7.25		0	3.1	91.8	
2011	2	20	51	-7.0	0.2	7.25		0	3.0	74.0	
2011	2	21	52	-8.2	-3.3	7.25		0	3.6	69.9	
2011	2	22	53	-8.2	-2.1	7.25		0	3.3	69.8	
2011	2	23	54	-9.0	-2.4	7.25		0	4.1	63.2	
2011	2	24	55	-10.6	0.4	7.25		0	3.1	63.1	
2011	2	25	56	-7.8	1.7	7.25		0	4.1	66.2	

2011	2	26	57	-7.4	4.1	7.25		0	1.9	67.9	
2011	2	27	58	-6.1	4.6	7.25		0	2.3	76.6	
2011	2	28	59	-8.6	8.0	7.25		0	0.7	87.4	
2011	3	1	60	-3.8	6.5	11.94		0	1.2	79.0	
2011	3	2	61	-8.2	6.0	11.94		0	1.6	59.0	
2011	3	3	62	-3.3	2.4	11.94		0	2.8	92.2	
2011	3	4	63	-7.1	8.0	11.94		0	1.4	80.2	
2011	3	5	64	-6.2	6.9	11.94		0	1.3	84.0	
2011	3	6	65	-2.1	6.5	11.94		0	4.4	51.0	
2011	3	7	66	-6.2	4.7	11.94		0	2.9	45.5	
2011	3	8	67	-10.6	6.8	11.94		0	2.2	55.8	
2011	3	9	68	-7.4	9.1	11.94		0	1.3	58.6	
2011	3	10	69	-2.3	6.0	11.94		0.9	1.0	88.4	
2011	3	11	70	-2.3	13.7	11.94		0	2.2	74.2	
2011	3	12	71	-3.8	15.1	11.94		0	2.6	64.5	
2011	3	13	72	-0.4	19.5	11.94		0	2.6	54.4	
2011	3	14	73	4.0	20.5	11.94		0	1.9	57.8	
2011	3	15	74	1.7	19.3	11.94		0	1.2	72.4	
2011	3	16	75	8.0	12.7	11.94		0.4	2.2	90.2	
2011	3	17	76	9.3	12.5	11.94		9.9	3.3	96.6	
2011	3	18	77	3.4	9.8	11.94		14.7	7.0	94.0	
2011	3	19	78	3.4	7.1	11.94		0.3	4.9	75.1	
2011	3	20	79	1.3	8.3	11.94		0	4.1	68.8	
2011	3	21	80	-0.3	10.5	11.94		0	2.4	68.5	
2011	3	22	81	-1.9	14.1	11.94		0	1.3	62.7	
2011	3	23	82	5.8	16.4	11.94		0	3.5	53.6	
2011	3	24	83	4.0	18.8	11.94		0	3.1	42.4	
2011	3	25	84	2.0	20.6	11.94		0	1.8	53.6	
2011	3	26	85	3.0	13.5	11.94		0	2.1	62.0	
2011	3	27	86	3.7	8.9	11.94		3.0	1.4	85.4	

2011	3	28	87	5.1	13.6	11.94		0	0.5	89.4	
2011	3	29	88	2.5	16.7	11.94		0	1.4	57.8	
2011	3	30	89	-1.4	21.2	11.94		0	1.0	64.3	
2011	3	31	90	1.7	21.5	11.94		0	1.4	65.7	
2011	4	1	91	10.0	18.4	17.47		0.7	4.0	82.0	
2011	4	2	92	7.2	21.8	17.47		0	1.5	72.2	
2011	4	3	93	4.7	21.3	17.47		0	1.5	72.9	
2011	4	4	94	6.1	22.6	17.47		0	3.2	79.1	
2011	4	5	95	6.7	16.2	17.47		3.0	3.3	71.2	
2011	4	6	96	4.5	18.4	17.47		0	3.9	68.3	
2011	4	7	97	13.7	26.2	17.47		0	5.2	54.3	
2011	4	8	98	10.6	18.6	17.47		0	7.3	44.6	
2011	4	9	99	9.7	17.2	17.47		0	7.7	43.5	
2011	4	10	100	5.9	17.5	17.47		0	6.0	49.6	
2011	4	11	101	8.7	19.2	17.47		0	3.1	56.9	
2011	4	12	102	7.4	19.2	17.47		8.0	5.0	67.9	
2011	4	13	103	4.9	9.9	17.47		4.2	7.1	72.9	
2011	4	14	104	0.0	8.6	17.47		5.2	4.6	84.2	
2011	4	15	105	4.6	11.8	17.47		0	2.7	82.5	
2011	4	16	106	2.3	16.3	17.47		0	0.9	74.7	
2011	4	17	107	-0.7	18.6	17.47		0	0.8	61.2	
2011	4	18	108	4.4	20.1	17.47		0	0.6	60.4	
2011	4	19	109	1.6	21.8	17.47		0	0.4	60.9	
2011	4	20	110	4.5	22.6	17.47		0	1.1	62.7	
2011	4	21	111	3.6	24.5	17.47		0	1.2	62.0	
2011	4	22	112	4.7	24.5	17.47		0	1.7	57.5	
2011	4	23	113	5.6	25.4	17.47		0	2.0	54.7	
2011	4	24	114	6.5	23.3	17.47		4.5	0.8	70.7	
2011	4	25	115	7.5	19.9	17.47		0.2	1.2	81.4	
2011	4	26	116	10.2	12.8	17.47		1.2	1.1	97.0	

2011	4	27	117	9.3	20.3	17.47		1.8	1.6	81.7	
2011	4	28	118	7.8	21.8	17.47		0	1.3	73.3	
2011	4	29	119	8.4	21.6	17.47		2.6	0.7	80.7	
2011	4	30	120	8.2	21.4	17.47		0.1	0.7	80.5	
2011	5	1	121	8.6	18.6	23.32		0	2.3	79.1	
2011	5	2	122	5.8	18.8	23.32		0	1.5	57.9	
2011	5	3	123	5.2	18.1	23.32		1.0	4.1	78.4	
2011	5	4	124	2.1	12.8	23.32		0	3.4	57.2	
2011	5	5	125	2.2	14.8	23.32		0	2.3	59.3	
2011	5	6	126	-1.0	18.1	23.32		0	1.5	61.4	
2011	5	7	127	2.8	21.6	23.32		0	1.3	56.0	
2011	5	8	128	6.1	17.4	23.32		1.3	2.5	63.2	
2011	5	9	129	2.8	22.4	23.32		0	1.0	65.6	
2011	5	10	130	5.3	25.7	23.32		0	0.6	61.2	
2011	5	11	131	8.3	26.9	23.32		0	1.2	58.5	
2011	5	12	132	8.1	27.2	23.32		4.0	2.0	65.8	
2011	5	13	133	8.7	21.0	23.32		0	3.7	66.4	
2011	5	14	134	6.5	23.9	23.32		2.1	1.4	79.4	
2011	5	15	135	9.8	13.9	23.32		6.0	4.7	87.1	
2011	5	16	136	8.5	18.6	23.32		0	4.4	64.7	
2011	5	17	137	9.8	20.3	23.32		0	2.2	67.7	
2011	5	18	138	6.8	24.3	23.32		0	1.4	68.5	
2011	5	19	139	9.7	27.6	23.32		0	2.3	61.6	
2011	5	20	140	10.6	27.3	23.32		0	1.3	64.9	
2011	5	21	141	13.4	29.7	23.32		0.2	2.1	66.9	
2011	5	22	142	11.3	28.1	23.32		0	1.6	68.7	
2011	5	23	143	14.1	26.5	23.32		0	3.0	57.7	
2011	5	24	144	11.2	30.1	23.32		0	0.9	67.3	
2011	5	25	145	8.8	22.9	23.32		0	3.5	51.4	
2011	5	26	146	5.9	26.0	23.32		0	2.6	58.1	

2011	5	27	147	11.1	25.3	23.32		0	2.8	77.9	
2011	5	28	148	9.8	14.1	23.32		0	4.2	95.5	
2011	5	29	149	8.8	23.6	23.32		0	1.8	70.6	
2011	5	30	150	9.5	25.3	23.32		0	2.3	66.1	
2011	5	31	151	13.6	28.4	23.32		0	3.5	64.3	
2011	6	1	152	13.7	23.9	22.83		0	3.1	78.8	
2011	6	2	153	16.1	19.8	22.83		0	4.4	83.1	
2011	6	3	154	15.0	28.7	22.83		0	2.8	82.7	
2011	6	4	155	16.7	29.3	22.83		0	1.6	78.9	
2011	6	5	156	13.6	27.6	22.83		0	2.7	74.4	
2011	6	6	157	15.7	28.5	22.83		0	3.6	68.1	
2011	6	7	158	13.9	29.1	22.83		0	2.2	74.8	
2011	6	8	159	16.2	27.9	22.83		0	2.4	87.0	
2011	6	9	160	13.9	19.9	22.83		0	2.8	76.3	
2011	6	10	161	13.0	22.4	22.83		0	3.5	61.9	
2011	6	11	162	12.5	25.4	22.83		0	2.5	63.8	
2011	6	12	163	14.5	22.1	22.83		0	4.2	82.0	
2011	6	13	164	12.9	28.3	22.83		0	2.0	66.9	
2011	6	14	165	16.8	25.3	22.83		0	3.8	67.6	
2011	6	15	166	13.1	29.1	22.83		0	1.8	66.1	
2011	6	16	167	12.8	31.4	22.83		0	1.3	69.6	
2011	6	17	168	17.1	26.5	22.83		0	2.6	73.7	
2011	6	18	169	12.2	23.0	22.83		0	2.6	83.0	
2011	6	19	170	11.0	21.5	22.83		0	3.8	74.2	
2011	6	20	171	12.8	21.6	22.83		0	4.8	56.6	
2011	6	21	172	14.7	29.1	22.83		0	3.1	62.4	
2011	6	22	173	15.1	31.3	22.83		0	2.9	65.0	
2011	6	23	174	16.3	27.6	22.83		0	3.0	73.8	
2011	6	24	175	14.3	22.5	22.83		0	4.2	72.0	
2011	6	25	176	11.5	21.0	22.83		0	4.2	60.6	

2011	6	26	177	13.1	21.6	22.83		0	1.8	80.3	
2011	6	27	178	10.8	27.1	22.83		0	1.6	73.9	
2011	6	28	179	14.7	27.0	22.83		0	3.4	51.0	
2011	6	29	180	16.3	30.6	22.83		0	3.5	52.2	
2011	6	30	181	14.5	28.9	22.83		0	5.7	73.1	
2011	7	1	182	13.5	22.3	17.55		0	6.1	56.3	
2011	7	2	183	12.1	20.2	17.55		0	5.4	68.8	
2011	7	3	184	12.1	15.3	17.55		0	7.2	80.4	
2011	7	4	185	14.4	23.5	17.55		0	4.6	81.8	
2011	7	5	186	15.4	24.7	17.55		0	2.8	80.5	
2011	7	6	187	14.0	29.4	17.55		0	2.5	68.8	
2011	7	7	188	14.2	32.3	17.55		0	1.1	62.4	
2011	7	8	189	16.1	28.1	17.55		0	3.1	66.0	
2011	7	9	190	14.8	35.3	17.55		0	1.4	64.6	
2011	7	10	191	18.8	34.0	17.55		0	2.5	60.1	
2011	7	11	192	19.8	30.7	17.55		0	3.1	65.4	
2011	7	12	193	14.6	30.4	17.55		0	1.6	60.7	
2011	7	13	194	16.4	33.8	17.55		0	3.2	59.2	
2011	7	14	195	17.2	27.2	17.55		0	4.4	73.3	
2011	7	15	196	15.2	21.9	17.55		0	3.9	73.1	
2011	7	16	197	15.6	28.9	17.55		0	2.1	55.4	
2011	7	17	198	11.5	32.0	17.55		0	3.5	61.1	
2011	7	18	199	15.4	23.2	17.55		0	3.1	66.1	
2011	7	19	200	11.4	28.8	17.55		0	2.0	65.0	
2011	7	20	201	15.0	20.9	17.55		0	6.6	73.5	
2011	7	21	202	13.8	17.6	17.55		0	5.5	88.8	
2011	7	22	203	14.7	21.9	17.55		0	4.8	83.7	
2011	7	23	204	14.2	21.2	17.55		0	1.6	83.3	
2011	7	24	205	13.0	17.6	17.55		0	5.2	83.9	
2011	7	25	206	12.3	18.6	17.55		0	4.3	83.5	

2011	7	26	207	14.6	18.3	17.55		0	2.8	90.9	
2011	7	27	208	14.7	27.0	17.55		0	1.5	77.1	
2011	7	28	209	14.4	22.0	17.55		0	0.9	95.9	
2011	7	29	210	15.4	25.3	17.55		0	3.7	78.6	
2011	7	30	211	14.9	22.6	17.55		0	4.0	79.4	
2011	7	31	212	14.0	18.8	17.55		0	5.1	86.6	
2011	8	1	213	14.6	21.3	18.65		0	3.1	90.6	
2011	8	2	214	15.3	28.5	18.65		0	1.5	75.4	
2011	8	3	215	12.6	29.2	18.65		0	1.1	72.4	
2011	8	4	216	16.4	23.8	18.65		0	1.0	89.1	
2011	8	5	217	14.0	29.7	18.65		0	1.1	77.6	
2011	8	6	218	17.6	27.6	18.65		0	2.3	81.7	
2011	8	7	219	16.0	30.8	18.65		0	2.0	87.9	
2011	8	8	220	15.7	18.9	18.65		0	1.4	95.0	
2011	8	9	221	14.6	23.3	18.65		0	5.3	60.7	
2011	8	10	222	8.8	19.5	18.65		0	4.1	66.5	
2011	8	11	223	6.4	27.9	18.65		0	1.0	66.1	
2011	8	12	224	12.8	26.9	18.65		0	1.6	72.2	
2011	8	13	225	12.8	25.7	18.65		0	2.2	80.0	
2011	8	14	226	13.4	30.1	18.65		0	1.0	73.2	
2011	8	15	227	15.8	31.3	18.65		0	2.6	80.3	
2011	8	16	228	14.6	26.1	18.65		0	2.0	77.0	
2011	8	17	229	12.2	29.0	18.65		0	1.0	72.3	
2011	8	18	230	14.1	32.2	18.65		0	1.6	72.8	
2011	8	19	231	16.9	29.0	18.65		0	2.3	79.4	
2011	8	20	232	15.4	28.9	18.65		0	1.8	70.8	
2011	8	21	233	12.4	30.9	18.65		0	1.0	70.7	
2011	8	22	234	16.1	35.6	18.65		0	0.8	74.5	
2011	8	23	235	19.8	36.4	18.65		0	1.4	70.9	
2011	8	24	236	17.3	36.0	18.65		0	1.0	70.6	

2011	8	25	237	19.5	35.5	18.65		0	1.9	65.9	
2011	8	26	238	17.8	35.9	18.65		0	2.8	60.3	
2011	8	27	239	11.9	32.8	18.65		0	4.3	71.7	
2011	8	28	240	10.8	23.9	18.65		0	2.3	74.2	
2011	8	29	241	9.6	27.8	18.65		0	1.1	65.7	
2011	8	30	242	15.1	25.7	18.65		0	2.7	56.0	
2011	8	31	243	11.3	25.3	18.65		0	1.4	68.7	
2011	9	1	244	10.5	26.9	14.43		0	1.1	74.0	
2011	9	2	245	13.2	28.4	14.43		0	1.6	68.5	
2011	9	3	246	12.9	31.3	14.43		0	1.1	67.3	
2011	9	4	247	17.2	32.0	14.43		0	2.9	64.2	
2011	9	5	248	15.9	31.6	14.43		0	3.8	71.6	
2011	9	6	249	11.4	25.1	14.43		0	3.0	62.7	
2011	9	7	250	7.7	26.3	14.43		0	3.1	68.3	
2011	9	8	251	15.3	19.5	14.43		0	5.5	66.0	
2011	9	9	252	13.2	20.5	14.43		0	3.5	84.4	
2011	9	10	253	13.8	29.9	14.43		0	0.7	76.5	
2011	9	11	254	12.9	32.0	14.43		0	1.2	72.6	
2011	9	12	255	13.8	28.0	14.43		0	3.9	62.8	
2011	9	13	256	11.8	31.8	14.43		0	1.8	61.3	
2011	9	14	257	13.7	29.5	14.43		0	2.4	77.3	
2011	9	15	258	12.5	24.2	14.43		0	2.2	67.3	
2011	9	16	259	8.2	23.7	14.43		0	0.8	70.6	
2011	9	17	260	8.0	24.0	14.43		0	0.6	76.5	
2011	9	18	261	13.1	29.3	14.43		0	4.5	66.2	
2011	9	19	262	9.5	14.2	14.43		0	5.1	92.8	
2011	9	20	263	9.7	12.5	14.43		0	5.4	99.1	
2011	9	21	264	12.5	21.1	14.43		0	2.8	86.1	
2011	9	22	265	13.4	23.0	14.43		0	3.3	74.7	
2011	9	23	266	11.4	22.1	14.43		0	1.5	73.4	

2011	9	24	267	8.5	22.7	14.43		0	0.7	74.7	
2011	9	25	268	6.5	25.3	14.43		0	1.2	77.0	
2011	9	26	269	7.4	26.7	14.43		0	0.6	76.8	
2011	9	27	270	7.5	27.1	14.43		0	0.6	77.0	
2011	9	28	271	10.5	23.2	14.43		0	2.2	73.3	
2011	9	29	272	7.5	23.8	14.43		0	2.2	57.0	
2011	9	30	273	12.4	25.2	14.43		0	1.8	68.8	
2011	10	1	274	9.1	27.5	7.74		0	0.7	69.2	
2011	10	2	275	12.7	25.3	7.74		0	2.1	67.9	
2011	10	3	276	8.2	26.6	7.74		0	0.6	75.2	
2011	10	4	277	8.0	26.5	7.74		0	2.2	70.8	
2011	10	5	278	10.7	23.4	7.74		0	2.4	70.6	
2011	10	6	279	10.3	26.1	7.74		0	0.8	75.8	
2011	10	7	280	7.5	16.3	7.74		0	4.1	89.9	
2011	10	8	281	6.1	11.8	7.74		0	3.8	82.5	
2011	10	9	282	5.2	11.1	7.74		0	4.2	84.0	
2011	10	10	283	5.6	12.8	7.74		0	1.6	88.5	
2011	10	11	284	11.6	19.3	7.74		0	2.4	79.9	
2011	10	12	285	9.5	16.0	7.74		0	2.6	92.6	
2011	10	13	286	6.8	13.3	7.74		0	3.1	79.9	
2011	10	14	287	2.7	10.5	7.74		0	2.9	73.1	
2011	10	15	288	-0.4	12.4	7.74		0	1.4	80.5	
2011	10	16	289	-1.2	10.8	7.74		0	1.7	75.6	
2011	10	17	290	-0.8	12.5	7.74		0	1.8	74.3	
2011	10	18	291	-1.7	14.0	7.74		0	0.9	81.2	
2011	10	19	292	-0.1	14.0	7.74		0	2.0	78.4	
2011	10	20	293	5.6	9.4	7.74		0	3.9	87.0	
2011	10	21	294	2.2	11.1	7.74		0	2.1	76.7	
2011	10	22	295	-1.2	10.6	7.74		0	1.2	85.9	
2011	10	23	296	-1.3	8.0	7.74		0	0.5	99.1	

2011	10	24	297	7.6	11.1	7.74		0	2.0	98.2	
2011	10	25	298	7.8	10.8	7.74		0	4.7	96.7	
2011	10	26	299	8.0	10.8	7.74		0	2.6	95.4	
2011	10	27	300	8.0	10.8	7.74		0	2.7	90.0	
2011	10	28	301	8.2	10.5	7.74		0	1.3	92.9	
2011	10	29	302	7.8	11.6	7.74		0	0.1	89.1	
2011	10	30	303	5.7	14.3	7.74		0	0.3	89.8	
2011	10	31	304	2.7	14.0	7.74		0	0.4	91.9	
2011	11	1	305	4.6	9.0	3.47		0	1.5	97.0	
2011	11	2	306	5.7	9.2	3.47		0	1.8	96.8	
2011	11	3	307	5.1	8.2	3.47		0	3.7	97.3	
2011	11	4	308	5.2	13.2	3.47		0	2.0	92.3	
2011	11	5	309	5.8	19.5	3.47		0	1.7	84.5	
2011	11	6	310	6.2	14.6	3.47		0	2.8	75.5	
2011	11	7	311	4.2	12.0	3.47		0	2.2	83.8	
2011	11	8	312	6.5	13.7	3.47		0	3.4	88.8	
2011	11	9	313	4.7	10.1	3.47		0	0.9	97.2	
2011	11	10	314	0.5	8.1	3.47		0	1.6	88.8	
2011	11	11	315	2.1	7.6	3.47		0	2.1	70.0	
2011	11	12	316	-3.6	9.0	3.47		0	1.9	81.3	
2011	11	13	317	-6.2	8.2	3.47		0	0.3	89.6	
2011	11	14	318	-5.2	5.3	3.47		0	0.5	96.4	
2011	11	15	319	-5.4	4.6	3.47		0	0.5	98.5	
2011	11	16	320	-5.3	0.4	3.47		0	1.2	97.7	
2011	11	17	321	-1.6	-0.1	3.47		0	1.4	99.1	
2011	11	18	322	-0.4	5.4	3.47		0	0.7	95.6	
2011	11	19	323	1.5	3.0	3.47		0	0.8	97.1	
2011	11	20	324	-0.8	2.4	3.47		0	1.4	91.5	
2011	11	21	325	-2.8	-0.2	3.47		0	2.7	99.6	
2011	11	22	326	-3.1	-2.6	3.47		0	1.9	99.4	

2011	11	23	327	-2.9	-0.7	3.47		0	0.6	98.9	
2011	11	24	328	-1.1	0.3	3.47		0	0.7	95.6	
2011	11	25	329	-1.4	0.1	3.47		0	1.7	98.8	
2011	11	26	330	-1.4	7.5	3.47		0	2.4	89.3	
2011	11	27	331	-2.2	3.4	3.47		0	1.6	98.1	
2011	11	28	332	-2.6	10.5	3.47		0	1.7	83.5	
2011	11	29	333	-2.5	2.5	3.47		0	2.6	95.9	
2011	11	30	334	-0.5	1.5	3.47		0	1.1	99.5	
2011	12	1	335	-0.4	1.7	2.52		0	1.9	99.5	
2011	12	2	336	-1.4	-0.2	2.52		0	2.8	99.8	
2011	12	3	337	-0.6	2.0	2.52		0.6	1.4	99.9	
2011	12	4	338	1.8	8.4	2.52		0.1	0.9	96.0	
2011	12	5	339	2.0	9.8	2.52		0	4.0	77.1	
2011	12	6	340	2.1	7.4	2.52		1.5	4.0	70.6	
2011	12	7	341	1.4	7.3	2.52		2.8	3.4	82.4	
2011	12	8	342	-2.2	7.0	2.52		0.2	7.0	66.7	
2011	12	9	343	-1.5	5.2	2.52		0	0.9	84.2	
2011	12	10	344	3.3	9.8	2.52		0	2.5	76.7	
2011	12	11	345	0.3	5.3	2.52		0	1.6	92.4	
2011	12	12	346	0.1	5.1	2.52		0	2.1	97.1	
2011	12	13	347	0.0	8.5	2.52		0	1.9	87.0	
2011	12	14	348	0.5	3.6	2.52		0	2.0	98.7	
2011	12	15	349	3.0	9.4	2.52		1.4	1.6	80.4	
2011	12	16	350	-1.3	9.2	2.52		2.7	3.5	78.9	
2011	12	17	351	2.3	8.7	2.52		0.8	6.6	72.3	
2011	12	18	352	1.7	5.2	2.52		0	4.3	69.8	
2011	12	19	353	-3.5	3.2	2.52		0	1.6	85.0	
2011	12	20	354	-7.9	3.8	2.52		0	1.5	77.9	
2011	12	21	355	-5.6	5.3	2.52		0.6	3.9	88.4	
2011	12	22	356	1.0	5.1	2.52		0	2.7	86.1	

2011	12	23	357	1.1	3.8	2.52		0.9	0.7	99.1	
2011	12	24	358	1.1	10.1	2.52		0	3.8	85.0	
2011	12	25	359	2.6	6.2	2.52		0	4.8	67.5	
2011	12	26	360	5.5	7.9	2.52		0	2.7	79.1	
2011	12	27	361	0.6	10.5	2.52		0	0.3	86.8	
2011	12	28	362	2.2	6.2	2.52		0	1.6	95.6	
2011	12	29	363	-1.1	6.9	2.52		0	3.0	82.7	
2011	12	30	364	1.3	6.4	2.52		0	4.4	67.6	
2011	12	31	365	-2.4	7.4	2.52		0	2.0	77.5	
2012	1	1	366	-1.5	2.3	4.29		1.9	1.0	98.8	
2012	1	2	367	0.5	3.5	4.29		0.6	1.6	97.5	
2012	1	3	368	0.4	10.0	4.29		0.7	2.8	84.0	
2012	1	4	369	0.3	8.8	4.29		0	2.3	81.9	
2012	1	5	370	4.2	8.3	4.29		1.0	4.1	61.0	
2012	1	6	371	3.3	6.7	4.29		0	8.4	61.8	
2012	1	7	372	2.7	6.1	4.29		1.4	5.5	72.9	
2012	1	8	373	3.2	5.7	4.29		3.8	4.2	86.9	
2012	1	9	374	2.7	6.5	4.29		1.8	4.9	87.0	
2012	1	10	375	2.7	7.0	4.29		2.4	5.4	75.5	
2012	1	11	376	2.2	9.1	4.29		0	4.1	71.7	
2012	1	12	377	5.5	9.4	4.29		0	5.2	62.1	
2012	1	13	378	0.6	7.0	4.29		2.1	6.3	79.0	
2012	1	14	379	1.5	4.5	4.29		0	7.3	64.3	
2012	1	15	380	-0.9	2.4	4.29		0	5.6	62.1	
2012	1	16	381	-1.9	1.7	4.29		0	4.6	61.3	
2012	1	17	382	-0.9	2.0	4.29		0.2	5.2	86.5	
2012	1	18	383	-4.1	6.5	4.29		0	3.5	68.2	
2012	1	19	384	-4.1	10.0	4.29		2.9	5.6	85.0	
2012	1	20	385	1.6	10.2	4.29		3.6	6.1	82.9	
2012	1	21	386	0.3	7.8	4.29		7.2	3.7	81.1	

2012	1	22	387	4.4	8.8	4.29		1.4	7.1	74.2	
2012	1	23	388	4.4	8.3	4.29		0.2	6.2	69.8	
2012	1	24	389	0.2	5.4	4.29		2.6	3.5	90.2	
2012	1	25	390	-2.3	2.9	4.29		0	3.1	79.3	
2012	1	26	391	-2.9	1.6	4.29		0	3.0	74.5	
2012	1	27	392	-5.3	0.5	4.29		0	1.4	82.0	
2012	1	28	393	-5.0	2.7	4.29		0	3.0	86.4	
2012	1	29	394	-6.1	0.0	4.29		0	2.0	91.4	
2012	1	30	395	-9.3	1.5	4.29		0	1.5	76.9	
2012	1	31	396	-11.2	-1.1	4.29		0	2.0	79.0	
2012	2	1	397	-12.7	-2.3	7.28		0	1.8	72.7	
2012	2	2	398	-14.0	-5.8	7.28		0	2.5	59.1	
2012	2	3	399	-15.6	-7.5	7.28		0	2.8	59.7	
2012	2	4	400	-12.1	-8.3	7.28		0	5.8	39.7	
2012	2	5	401	-12.9	-6.9	7.28		0	4.3	47.4	
2012	2	6	402	-13.4	-7.7	7.28		0	4.5	60.6	
2012	2	7	403	-11.2	-8.1	7.28		0	5.5	85.0	
2012	2	8	404	-11.6	-5.5	7.28		0	3.0	71.1	
2012	2	9	405	-11.4	-5.8	7.28		0	3.0	82.8	
2012	2	10	406	-12.6	-7.2	7.28		0	3.0	74.1	
2012	2	11	407	-14.7	-7.2	7.28		0	2.7	70.3	
2012	2	12	408	-14.4	-6.0	7.28		0	3.2	61.6	
2012	2	13	409	-13.5	-2.5	7.28		0	4.0	64.8	
2012	2	14	410	-5.2	0.4	7.28		0	3.3	75.6	
2012	2	15	411	-0.9	5.6	7.28		1.5	8.7	76.5	
2012	2	16	412	-3.2	2.2	7.28		0	6.8	66.1	
2012	2	17	413	-2.4	5.2	7.28		1.3	5.7	82.0	
2012	2	18	414	2.0	8.6	7.28		0	2.7	79.8	
2012	2	19	415	-1.9	6.1	7.28		1.1	2.1	91.8	
2012	2	20	416	-3.0	5.5	7.28		0	2.6	73.1	

2012	2	21	417	-7.8	7.4	7.28		0	0.9	79.5	
2012	2	22	418	-1.5	9.6	7.28		0	1.5	74.9	
2012	2	23	419	-4.8	9.7	7.28		0	3.8	81.6	
2012	2	24	420	6.3	12.7	7.28		0	7.3	78.9	
2012	2	25	421	6.1	13.6	7.28		0	5.0	67.3	
2012	2	26	422	0.6	7.8	7.28		0.5	5.0	74.1	
2012	2	27	423	-1.8	5.9	7.28		0.1	4.2	61.3	
2012	2	28	424	1.6	8.2	7.28		4.4	4.5	91.5	
2012	2	29	425	7.9	13.0	7.28		0	6.4	87.3	
2012	3	1	426	8.2	14.6	12.90		0	1.8	86.3	
2012	3	2	427	5.1	15.2	12.90		0	3.7	82.1	
2012	3	3	428	-1.7	9.8	12.90		0	2.1	64.1	
2012	3	4	429	-2.1	8.7	12.90		0	1.7	59.8	
2012	3	5	430	-5.0	10.3	12.90		0	2.2	72.7	
2012	3	6	431	-3.0	6.0	12.90		0	2.4	56.2	
2012	3	7	432	-8.6	5.8	12.90		0	1.8	58.5	
2012	3	8	433	-1.5	4.2	12.90		2.4	1.5	78.7	
2012	3	9	434	-0.3	9.2	12.90		0	3.5	68.5	
2012	3	10	435	-4.3	11.8	12.90		0	2.3	62.5	
2012	3	11	436	5.8	9.3	12.90		0	6.7	68.0	
2012	3	12	437	6.4	10.0	12.90		0	5.7	76.4	
2012	3	13	438	7.6	11.3	12.90		0	4.2	76.7	
2012	3	14	439	6.8	10.1	12.90		0	5.3	70.0	
2012	3	15	440	0.3	12.9	12.90		0	2.6	68.0	
2012	3	16	441	-3.2	19.6	12.90		0	0.7	69.8	
2012	3	17	442	-1.1	20.6	12.90		0	0.9	63.0	
2012	3	18	443	1.8	23.4	12.90		0	1.5	55.6	
2012	3	19	444	4.5	13.5	12.90		0	3.5	61.3	
2012	3	20	445	1.3	16.6	12.90		0	1.1	53.0	
2012	3	21	446	-2.0	19.8	12.90		0	0.8	58.8	

2012	3	22	447	2.0	20.9	12.90		0	0.8	65.3	
2012	3	23	448	2.5	22.0	12.90		0	0.6	65.4	
2012	3	24	449	5.8	21.8	12.90		0	1.6	61.8	
2012	3	25	450	8.3	20.9	12.90		0	4.1	49.3	
2012	3	26	451	4.0	16.7	12.90		0	2.7	42.8	
2012	3	27	452	1.4	18.9	12.90		0	4.4	45.6	
2012	3	28	453	8.9	21.9	12.90		0	4.2	57.7	
2012	3	29	454	8.0	18.7	12.90		0	4.9	51.5	
2012	3	30	455	5.1	10.3	12.90		0	5.5	87.0	
2012	3	31	456	3.1	12.9	12.90		0	7.8	66.7	
2012	4	1	457	-1.0	8.9	16.63		0	4.1	59.9	
2012	4	2	458	-0.9	17.4	16.63		0	2.7	51.4	
2012	4	3	459	3.2	19.9	16.63		0	1.5	62.5	
2012	4	4	460	3.8	24.4	16.63		0	1.1	62.9	
2012	4	5	461	7.0	19.7	16.63		0	2.5	73.3	
2012	4	6	462	6.9	11.0	16.63		0	2.9	88.7	
2012	4	7	463	3.6	13.4	16.63		0	2.5	83.4	
2012	4	8	464	0.4	5.8	16.63		0	4.9	64.6	
2012	4	9	465	-2.1	11.8	16.63		0	2.5	45.4	
2012	4	10	466	-2.2	15.1	16.63		0	3.9	44.9	
2012	4	11	467	5.4	20.3	16.63		0	2.5	49.6	
2012	4	12	468	1.3	11.3	16.63		0	4.1	91.4	
2012	4	13	469	0.5	16.9	16.63		0	1.0	80.7	
2012	4	14	470	7.9	15.2	16.63		0	3.2	73.4	
2012	4	15	471	8.1	11.0	16.63		0	3.6	89.7	
2012	4	16	472	4.2	8.7	16.63		0	5.4	95.4	
2012	4	17	473	-1.2	10.9	16.63		0	3.3	65.0	
2012	4	18	474	-2.7	16.3	16.63		0	1.0	63.5	
2012	4	19	475	3.2	18.5	16.63		0	1.6	67.4	
2012	4	20	476	2.5	19.2	16.63		0	1.3	79.1	

2012	4	21	477	5.5	18.5	16.63		0	2.6	67.9	
2012	4	22	478	3.2	14.4	16.63		0	2.4	82.3	
2012	4	23	479	3.1	17.7	16.63		0	2.4	65.2	
2012	4	24	480	4.1	19.7	16.63		0	3.7	69.3	
2012	4	25	481	5.2	21.1	16.63		0	3.7	51.6	
2012	4	26	482	4.0	23.5	16.63		0	1.9	65.2	
2012	4	27	483	5.6	25.8	16.63		0	1.3	63.5	
2012	4	28	484	7.0	28.4	16.63		0	2.6	55.5	
2012	4	29	485	13.0	29.4	16.63		0	2.9	40.3	
2012	4	30	486	9.0	30.7	16.63		0	1.8	49.4	
2012	5	1	487	9.3	30.3	21.29		0	1.7	57.4	
2012	5	2	488	9.8	30.7	21.29		0	1.5	55.5	
2012	5	3	489	12.4	23.3	21.29		0	3.7	67.6	
2012	5	4	490	9.5	19.0	21.29		0	3.1	80.8	
2012	5	5	491	6.3	24.4	21.29		0	3.0	78.2	
2012	5	6	492	8.4	23.0	21.29		0	2.1	75.5	
2012	5	7	493	9.8	19.5	21.29		0	2.6	74.1	
2012	5	8	494	7.3	22.8	21.29		0	1.3	65.0	
2012	5	9	495	6.1	26.6	21.29		0	1.8	62.8	
2012	5	10	496	11.6	29.1	21.29		0	1.4	59.6	
2012	5	11	497	10.6	31.5	21.29		0	1.3	59.0	
2012	5	12	498	10.8	24.3	21.29		0	3.8	82.2	
2012	5	13	499	6.6	15.2	21.29		0	4.3	49.7	
2012	5	14	500	8.2	14.1	21.29		0	3.2	61.6	
2012	5	15	501	6.8	19.9	21.29		0	2.6	54.6	
2012	5	16	502	8.7	12.5	21.29		0	5.7	77.7	
2012	5	17	503	4.2	14.9	21.29		0	5.4	54.4	
2012	5	18	504	-2.3	18.1	21.29		0	2.3	50.1	
2012	5	19	505	5.1	23.5	21.29		0	2.6	51.3	
2012	5	20	506	9.5	26.7	21.29		0	3.8	55.5	

2012	5	21	507	14.7	27.1	21.29		0	2.7	60.3	
2012	5	22	508	14.4	22.4	21.29		0	2.6	88.3	
2012	5	23	509	15.9	29.2	21.29		0	3.3	62.5	
2012	5	24	510	17.5	27.0	21.29		0	4.2	50.3	
2012	5	25	511	12.8	23.3	21.29		0	3.6	44.7	
2012	5	26	512	8.6	24.1	21.29		0	2.2	46.2	
2012	5	27	513	12.3	25.7	21.29		0	1.6	42.8	
2012	5	28	514	10.6	24.4	21.29		0	2.1	65.8	
2012	5	29	515	10.6	26.9	21.29		0	2.9	61.8	
2012	5	30	516	14.6	25.9	21.29		0	3.3	67.0	
2012	5	31	517	15.0	24.2	21.29		0	2.7	69.4	
2012	6	1	518	13.7	20.2	20.67		0	4.2	76.5	
2012	6	2	519	12.3	22.0	20.67		0	1.8	75.8	
2012	6	3	520	10.9	29.1	20.67		0	1.4	78.7	
2012	6	4	521	13.3	21.4	20.67		0	2.7	90.2	
2012	6	5	522	11.1	17.9	20.67		0	5.4	71.4	
2012	6	6	523	6.6	22.0	20.67		0	1.3	65.1	
2012	6	7	524	13.1	28.8	20.67		0	1.3	65.0	
2012	6	8	525	14.8	29.7	20.67		0	3.2	68.6	
2012	6	9	526	13.9	18.2	20.67		0	2.2	92.6	
2012	6	10	527	11.4	19.4	20.67		0	1.6	94.3	
2012	6	11	528	12.5	22.9	20.67		0	1.8	82.0	
2012	6	12	529	13.2	23.1	20.67		0	1.7	83.3	
2012	6	13	530	12.2	18.6	20.67		0	6.6	84.0	
2012	6	14	531	13.8	23.5	20.67		0	3.5	65.0	
2012	6	15	532	11.9	27.4	20.67		0	1.5	68.4	
2012	6	16	533	13.5	31.5	20.67		0	2.4	60.1	
2012	6	17	534	15.5	31.8	20.67		0	1.4	64.9	
2012	6	18	535	16.1	33.8	20.67		0	2.4	58.6	
2012	6	19	536	16.6	33.8	20.67		0	1.9	64.1	

2012	6	20	537	17.4	35.0	20.67		0	2.2	61.8	
2012	6	21	538	19.6	31.8	20.67		0	2.0	73.6	
2012	6	22	539	18.7	28.9	20.67		0	4.5	67.8	
2012	6	23	540	15.3	27.9	20.67		0	2.1	71.4	
2012	6	24	541	12.5	32.2	20.67		0	2.2	62.8	
2012	6	25	542	16.5	22.0	20.67		0	3.9	73.0	
2012	6	26	543	14.3	24.7	20.67		0	3.8	53.5	
2012	6	27	544	11.6	26.4	20.67		0	2.8	54.8	
2012	6	28	545	14.9	30.2	20.67		0	1.7	64.5	
2012	6	29	546	16.1	34.7	20.67		0	1.3	66.9	
2012	6	30	547	18.0	37.1	20.67		0	2.1	61.4	
2012	7	1	548	21.6	37.4	19.26		0	2.5	57.6	
2012	7	2	549	19.7	35.3	19.26		0	2.9	58.6	
2012	7	3	550	19.3	36.2	19.26		0	2.6	66.3	
2012	7	4	551	19.1	32.3	19.26		0	1.8	75.6	
2012	7	5	552	17.9	35.9	19.26		0	2.3	61.6	
2012	7	6	553	17.4	35.7	19.26		0	2.4	67.4	
2012	7	7	554	16.5	33.3	19.26		0	2.0	65.7	
2012	7	8	555	19.5	34.1	19.26		0	2.6	70.7	
2012	7	9	556	19.1	28.5	19.26		0	3.2	70.1	
2012	7	10	557	18.4	32.5	19.26		0	1.1	69.1	
2012	7	11	558	15.7	29.0	19.26		0	1.9	65.4	
2012	7	12	559	17.5	23.9	19.26		0	4.6	59.0	
2012	7	13	560	12.6	18.0	19.26		0	0.8	87.9	
2012	7	14	561	13.2	22.8	19.26		0	1.8	90.4	
2012	7	15	562	13.7	21.5	19.26		0	2.4	80.4	
2012	7	16	563	11.5	22.1	19.26		0	4.6	66.9	
2012	7	17	564	11.0	22.6	19.26		0	4.0	66.2	
2012	7	18	565	16.1	26.8	19.26		0	3.8	60.5	
2012	7	19	566	12.6	34.2	19.26		0	1.5	72.4	

2012	7	20	567	15.5	20.5	19.26		0	1.8	87.2	
2012	7	21	568	14.4	20.4	19.26		0	2.4	87.3	
2012	7	22	569	13.6	19.6	19.26		0	3.6	77.5	
2012	7	23	570	12.0	27.1	19.26		0	2.0	57.4	
2012	7	24	571	13.1	31.4	19.26		0	1.0	64.2	
2012	7	25	572	18.2	25.3	19.26		0	1.5	93.4	
2012	7	26	573	16.6	28.5	19.26		0	2.1	84.1	
2012	7	27	574	17.9	32.7	19.26		0	1.2	72.7	
2012	7	28	575	17.4	32.9	19.26		0	2.3	72.4	
2012	7	29	576	18.0	28.4	19.26		0	2.4	78.9	
2012	7	30	577	18.3	25.0	19.26		0	3.2	66.1	
2012	7	31	578	17.2	29.0	19.26		0	1.8	60.5	
2012	8	1	579	15.0	32.2	19.52		0	1.1	59.8	
2012	8	2	580	14.5	33.0	19.52		0	1.7	63.1	
2012	8	3	581	17.0	27.0	19.52		0	2.9	73.8	
2012	8	4	582	17.7	31.3	19.52		0	1.3	73.2	
2012	8	5	583	17.2	32.8	19.52		0	1.7	78.9	
2012	8	6	584	18.1	35.6	19.52		0	2.2	65.9	
2012	8	7	585	17.8	27.4	19.52		0	4.3	61.1	
2012	8	8	586	17.8	26.4	19.52		0	2.2	57.0	
2012	8	9	587	16.8	27.5	19.52		0	2.3	54.7	
2012	8	10	588	15.9	24.9	19.52		0	2.0	60.8	
2012	8	11	589	12.3	18.5	19.52		0	2.8	78.5	
2012	8	12	590	11.9	24.6	19.52		0	2.0	71.7	
2012	8	13	591	9.1	25.2	19.52		0	1.3	61.8	
2012	8	14	592	9.5	26.1	19.52		0	1.8	53.7	
2012	8	15	593	9.2	29.3	19.52		0	0.9	57.4	
2012	8	16	594	11.2	28.3	19.52		0	2.6	64.7	
2012	8	17	595	16.4	28.3	19.52		0	2.6	72.8	
2012	8	18	596	13.9	31.4	19.52		0	0.8	64.3	

2012	8	19	597	11.9	33.4	19.52		0	0.9	60.4	
2012	8	20	598	12.6	37.7	19.52		0	1.3	59.2	
2012	8	21	599	15.9	32.3	19.52		0	1.9	64.9	
2012	8	22	600	15.0	37.0	19.52		0	1.3	65.2	
2012	8	23	601	19.2	34.3	19.52		0	1.6	62.9	
2012	8	24	602	17.5	35.0	19.52		0	2.6	55.5	
2012	8	25	603	17.4	29.3	19.52		0	1.2	68.7	
2012	8	26	604	16.8	22.4	19.52		0	4.1	83.0	
2012	8	27	605	12.9	22.7	19.52		0	4.3	69.1	
2012	8	28	606	8.7	28.9	19.52		0	1.3	67.3	
2012	8	29	607	15.6	31.4	19.52		0	1.2	59.4	
2012	8	30	608	11.9	32.1	19.52		0	1.5	59.0	
2012	8	31	609	13.3	22.2	19.52		0	4.2	89.1	
2012	9	1	610	12.7	16.6	13.23		0	3.4	98.2	
2012	9	2	611	15.1	27.1	13.23		0	1.8	86.9	
2012	9	3	612	16.1	19.3	13.23		0	2.1	97.0	
2012	9	4	613	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	5	614	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	6	615	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	7	616	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	8	617	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	9	618	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	10	619	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	11	620	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	12	621	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	13	622	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	14	623	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	15	624	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	16	625	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	17	626	16.6	16.6	13.23		0	0	65	

2012	9	18	627	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	19	628	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	20	629	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	21	630	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	22	631	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	23	632	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	24	633	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	25	634	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	26	635	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	27	636	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	28	637	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	29	638	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	9	30	639	16.6	16.6	13.23		0	0	65	
2012	10	1	640	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	2	641	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	3	642	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	4	643	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	5	644	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	6	645	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	7	646	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	8	647	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	9	648	10.2	10.2	7.26		0	0	76.00	
2012	10	10	649	4.5	16.1	7.26		0	0.8	73.8	
2012	10	11	650	2.8	16.4	7.26		0	1.0	71.4	
2012	10	12	651	8.8	12.4	7.26		0	1.9	85.4	
2012	10	13	652	9.5	17.3	7.26		0	1.7	72.0	
2012	10	14	653	4.2	17.7	7.26		0	1.9	82.4	
2012	10	15	654	8.4	19.5	7.26		0	3.7	84.0	
2012	10	16	655	6.5	9.0	7.26		0	2.2	94.4	
2012	10	17	656	1.2	13.4	7.26		0	1.3	93.5	

2012	10	18	657	3.0	18.4	7.26		0	1.8	89.6	
2012	10	19	658	3.3	18.0	7.26		0	0.9	91.5	
2012	10	20	659	5.8	13.8	7.26		0	1.5	96.8	
2012	10	21	660	8.7	13.0	7.26		0	0.4	97.8	
2012	10	22	661	6.9	15.4	7.26		0	0.9	95.8	
2012	10	23	662	3.7	10.3	7.26		0	1.4	97.5	
2012	10	24	663	9.3	11.8	7.26		0	1.0	90.9	
2012	10	25	664	8.0	12.0	7.26		0	2.6	83.7	
2012	10	26	665	7.4	10.2	7.26		0	1.3	84.0	
2012	10	27	666	0.6	11.3	7.26		0	1.8	97.6	
2012	10	28	667	0.4	5.1	7.26		0	2.8	78.4	
2012	10	29	668	0.2	2.7	7.26		0	2.0	91.8	
2012	10	30	669	-3.4	8.0	7.26		0	1.5	77.2	
2012	10	31	670	-1.7	9.2	7.26		0	2.2	88.8	
2012	11	1	671	4.0	7.5	3.50		0	2.2	95.6	
2012	11	2	672	1.5	8.6	3.50		0	0.8	96.6	
2012	11	3	673	0.1	8.3	3.50		0	0.6	98.5	
2012	11	4	674	3.7	10.1	3.50		0	0.5	97.6	
2012	11	5	675	2.4	13.4	3.50		0	2.5	89.8	
2012	11	6	676	2.3	10.6	3.50		0	2.5	73.3	
2012	11	7	677	2.5	9.6	3.50		0	4.9	73.9	
2012	11	8	678	1.3	14.9	3.50		0	0.8	86.1	
2012	11	9	679	2.1	12.9	3.50		0	1.9	84.9	
2012	11	10	680	3.0	10.3	3.50		0	3.7	82.4	
2012	11	11	681	7.7	11.0	3.50		0	2.7	84.7	
2012	11	12	682	8.8	10.2	3.50		0	1.6	95.3	
2012	11	13	683	4.7	11.1	3.50		0	1.7	93.3	
2012	11	14	684	-2.1	8.7	3.50		0	1.1	93.7	
2012	11	15	685	-2.4	10.3	3.50		0	2.4	90.0	
2012	11	16	686	0.0	10.3	3.50		0	2.5	89.7	

2012	11	17	687	4.7	9.2	3.50		0	2.6	90.9	
2012	11	18	688	4.0	7.2	3.50		0	0.9	98.4	
2012	11	19	689	4.5	7.9	3.50		0	0.9	98.1	
2012	11	20	690	4.5	7.1	3.50		0	1.4	98.6	
2012	11	21	691	5.6	9.3	3.50		0	2.0	96.5	
2012	11	22	692	1.2	8.1	3.50		0	1.0	94.6	
2012	11	23	693	4.4	7.1	3.50		0	0.8	97.4	
2012	11	24	694	5.7	8.1	3.50		0	0.6	95.4	
2012	11	25	695	4.8	10.4	3.50		0	1.7	94.7	
2012	11	26	696	6.0	7.6	3.50		0	1.3	98.3	
2012	11	27	697	6.4	8.0	3.50		0	0.8	97.2	
2012	11	28	698	4.9	15.2	3.50		0	1.9	89.9	
2012	11	29	699	4.3	10.8	3.50		0	3.5	76.7	
2012	11	30	700	2.9	5.0	3.50		0	4.0	73.2	
2012	12	1	701	0.0	5.7	2.74		0	1.5	81.0	
2012	12	2	702	-0.1	3.1	2.74		0	1.8	81.8	
2012	12	3	703	-1.7	4.1	2.74		0	2.9	76.6	
2012	12	4	704	-0.9	3.9	2.74		1.8	2.3	86.3	
2012	12	5	705	0.0	3.6	2.74		0	1.6	95.9	
2012	12	6	706	-3.3	3.5	2.74		1.0	1.6	86.1	
2012	12	7	707	-7.1	0.2	2.74		0	1.2	80.7	
2012	12	8	708	-7.7	-2.8	2.74		0	0.9	82.0	
2012	12	9	709	-5.7	0.2	2.74		0	1.2	72.3	
2012	12	10	710	-2.4	3.8	2.74		0.3	2.5	88.1	
2012	12	11	711	-2.4	2.2	2.74		0.5	1.7	87.2	
2012	12	12	712	-4.4	-1.9	2.74		0	0.7	66.8	
2012	12	13	713	-10.3	-3.1	2.74		0	1.1	86.8	
2012	12	14	714	-10.3	1.9	2.74		0	1.2	93.5	
2012	12	15	715	0.7	3.8	2.74		5.8	1.3	98.1	
2012	12	16	716	-1.3	2.8	2.74		0	0.7	99.1	

2012	12	17	717	0.9	2.6	2.74		0	1.0	99.1	
2012	12	18	718	1.3	2.5	2.74		0	0.6	99.1	
2012	12	19	719	1.9	4.4	2.74		0	3.2	96.6	
2012	12	20	720	-4.5	3.3	2.74		0	1.8	90.2	
2012	12	21	721	-1.5	-0.4	2.74		0	1.7	98.1	
2012	12	22	722	-1.8	-0.4	2.74		0	1.1	95.8	
2012	12	23	723	-0.6	0.5	2.74		20.8	1.5	99.1	
2012	12	24	724	-0.2	0.0	2.74		0.5	1.4	99.1	
2012	12	25	725	-0.2	1.2	2.74		0	1.4	99.1	
2012	12	26	726	-0.3	8.8	2.74		0	1.7	90.7	
2012	12	27	727	0.5	9.7	2.74		0	1.1	88.8	
2012	12	28	728	-2.9	7.8	2.74		0.5	2.7	84.8	
2012	12	29	729	-6.8	2.9	2.74		0	1.5	89.2	
2012	12	30	730	-3.7	3.0	2.74		0	1.6	86.4	
2012	12	31	731	-5.9	4.8	2.74		0	1.0	96.0	

10.3 STICS – Simulationsergebnisse

Tabelle 51: STICS - Simulationsergebnisse

Datum	FsNH3 $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$	em_N2O $\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	lessiv $\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	Datum	FsNH3 $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$	em_N2O $\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	lessiv $\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$
01.01.2011	0	0	0	01.01.2012	0	0	0
02.01.2011	0	0	0	02.01.2012	0	0	0
03.01.2011	0	0	0	03.01.2012	0	0	0
04.01.2011	0	0	0	04.01.2012	0	0	0
05.01.2011	0	0	0	05.01.2012	0	0	0
06.01.2011	0	0	0	06.01.2012	0	0.00013	0
07.01.2011	0	0	0	07.01.2012	0	0	0
08.01.2011	0	0	0	08.01.2012	0	0	0
09.01.2011	0	0	0	09.01.2012	0	0	0
10.01.2011	0	0	0	10.01.2012	0	0	0
11.01.2011	0	0	0	11.01.2012	0	0	0
12.01.2011	0	0	0	12.01.2012	0	0.00007	0
13.01.2011	0	0	0	13.01.2012	0	0.00056	0
14.01.2011	0	0.00003	0	14.01.2012	0	0	0
15.01.2011	0	0.00036	0	15.01.2012	0	0	0
16.01.2011	0	0.00016	0	16.01.2012	0	0	0
17.01.2011	0	0.00004	0	17.01.2012	0	0	0
18.01.2011	0	0	0	18.01.2012	0	0	0
19.01.2011	0	0	0	19.01.2012	0	0	0
20.01.2011	0	0	0	20.01.2012	0	0	0
21.01.2011	0	0	0	21.01.2012	0	0.00008	312.883
22.01.2011	0	0	0	22.01.2012	0	0	0
23.01.2011	0	0	0	23.01.2012	0	0.00025	0
24.01.2011	0	0	0	24.01.2012	0	0.0002	0.68346
25.01.2011	0	0	0	25.01.2012	0	0	0
26.01.2011	0	0	0	26.01.2012	0	0	0
27.01.2011	0	0	0	27.01.2012	0	0	0
28.01.2011	0	0	0	28.01.2012	0	0	0
29.01.2011	0	0	0	29.01.2012	0	0	0
30.01.2011	0	0	0	30.01.2012	0	0	0
31.01.2011	0	0	0	31.01.2012	0	0	0
01.02.2011	0	0	0	01.02.2012	0	0	0
02.02.2011	0	0	0	02.02.2012	0	0	0
03.02.2011	0	0	0	03.02.2012	0	0	0
04.02.2011	0	0	0	04.02.2012	0	0	0
05.02.2011	0	0	0	05.02.2012	0	0	0
06.02.2011	0	0.0001	0	06.02.2012	0	0	0
07.02.2011	0	0.00003	0	07.02.2012	0	0	0
08.02.2011	0	0.00004	0	08.02.2012	0	0	0
09.02.2011	0	0	0	09.02.2012	0	0	0
10.02.2011	0	0	0	10.02.2012	0	0	0
11.02.2011	0	0	0	11.02.2012	0	0	0
12.02.2011	0	0	0	12.02.2012	0	0	0
13.02.2011	0	0	0	13.02.2012	0	0	0
14.02.2011	0	0	0	14.02.2012	0	0	0

15.02.2011	0	0	0	15.02.2012	0	0	0
16.02.2011	0	0	0	16.02.2012	0	0	0
17.02.2011	0	0	0	17.02.2012	0	0	0
18.02.2011	0	0	0	18.02.2012	0	0	0
19.02.2011	0	0	0	19.02.2012	0	0	0
20.02.2011	0	0	0	20.02.2012	0	0	0
21.02.2011	0	0	0	21.02.2012	0	0	0
22.02.2011	0	0	0	22.02.2012	0	0	0
23.02.2011	0	0	0	23.02.2012	0	0	0
24.02.2011	0	0	0	24.02.2012	0	0	0
25.02.2011	0	0	0	25.02.2012	0	0.00021	0
26.02.2011	0	0	0	26.02.2012	0	0.0002	0
27.02.2011	0	0	0	27.02.2012	0	0	0
28.02.2011	0	0	0	28.02.2012	0	0	0
01.03.2011	0	0	0	29.02.2012	0	0	0
02.03.2011	0	0	0	01.03.2012	0	0.00023	0
03.03.2011	0	0	0	02.03.2012	0	0.00029	0
04.03.2011	0	0	0	03.03.2012	0	0.00022	0
05.03.2011	0	0	0	04.03.2012	0	0	0
06.03.2011	0	0	0	05.03.2012	0	0	0
07.03.2011	0	0	0	06.03.2012	0	0	0
08.03.2011	0	0	0	07.03.2012	0	0	0
09.03.2011	0	0	0	08.03.2012	0	0	0
10.03.2011	0	0	0	09.03.2012	0	0	0
11.03.2011	0	0	0	10.03.2012	0	0	0
12.03.2011	0	0	0	11.03.2012	0	0	0
13.03.2011	0	0	0	12.03.2012	0	0.00005	0
14.03.2011	0	0.00005	0	13.03.2012	0	0.00009	0
15.03.2011	0	0.00012	0	14.03.2012	0	0.0003	0
16.03.2011	0	0.0001	0	15.03.2012	0	0.00075	0
17.03.2011	0	0.00012	0	16.03.2012	0	0.00099	0
18.03.2011	0	0.00096	0	17.03.2012	0	0.0018	0
19.03.2011	0	0.00062	0	18.03.2012	0	0.00273	0
20.03.2011	0	0.00027	0	19.03.2012	0	0.00395	0
21.03.2011	0	0.00016	0	20.03.2012	0	0.0037	0
22.03.2011	0	0.00018	0	21.03.2012	0	0.00355	0
23.03.2011	0	0.00035	0	22.03.2012	0	0.00334	0
24.03.2011	0	0.00113	0	23.03.2012	0	0.00348	0
25.03.2011	0	0.00111	0	24.03.2012	0	0.08074	0
26.03.2011	0	0.00122	0	25.03.2012	0	0.03811	0
27.03.2011	0	0.00098	0	26.03.2012	0	0.01414	0
28.03.2011	0	0.00082	0	27.03.2012	0	0.00844	0
29.03.2011	0	0.00092	0	28.03.2012	0	0.00388	0
30.03.2011	0	0.00093	0	29.03.2012	0	0.00318	0
31.03.2011	0	0.00095	0	30.03.2012	0	0.0008	0
01.04.2011	0	0.00102	0	31.03.2012	0	0.00194	0
02.04.2011	0	0.00116	0	01.04.2012	0	0.00175	0
03.04.2011	0	0.00122	0	02.04.2012	0	0.00041	0
04.04.2011	0	0.00107	0	03.04.2012	0	0.00119	0
05.04.2011	0	0.00107	0	04.04.2012	0	0.0013	0
06.04.2011	0	0.00112	0	05.04.2012	0	0.00188	0
07.04.2011	0	0.00082	0	06.04.2012	0	0.00137	0
08.04.2011	0	0.00101	0	07.04.2012	0	0.0006	0

09.04.2011	0	0.00091	0	08.04.2012	0	0.00044	0
10.04.2011	0	0.00086	0	09.04.2012	0	0.00018	0
11.04.2011	0	0.00081	0	10.04.2012	0	0.00016	0
12.04.2011	0	0.00082	0	11.04.2012	0	0.00015	0
13.04.2011	0	0.00116	0	12.04.2012	0	0.00022	0
14.04.2011	0	0.00066	0	13.04.2012	0	0.00011	0
15.04.2011	0	0.0007	0	14.04.2012	0	0.00013	0
16.04.2011	0	0.00085	0	15.04.2012	0	0.0001	0
17.04.2011	0	0.00077	0	16.04.2012	0	0.00008	0
18.04.2011	0	0.00062	0	17.04.2012	0	0.03292	0
19.04.2011	0	0.00067	0	18.04.2012	0	0.0024	0
20.04.2011	0	0.00062	0	19.04.2012	0	0.02176	0
21.04.2011	0	0.00067	0	20.04.2012	0	0.06207	0
22.04.2011	0	0.00068	0	21.04.2012	0	0.03532	0
23.04.2011	0	0.00068	0	22.04.2012	0	0.01809	0
24.04.2011	0	0.00072	0	23.04.2012	0	0.00728	0
25.04.2011	0	0.00092	0	24.04.2012	0	0.00546	0
26.04.2011	0	0.00069	0	25.04.2012	0	0.00587	0
27.04.2011	0	0.00065	0	26.04.2012	0	0.00455	0
28.04.2011	0	0.00064	0	27.04.2012	0	0.00201	0
29.04.2011	0	0.00068	0	28.04.2012	0	0.00114	0
30.04.2011	0	0.00077	0	29.04.2012	0	0.00065	0
01.05.2011	0	0.00065	0	30.04.2012	0	0.00035	0
02.05.2011	0	0.00068	0	01.05.2012	0	0.00113	0
03.05.2011	0	0.00068	0	02.05.2012	0	0.00047	0
04.05.2011	0	0.00057	0	03.05.2012	0	0.00031	0
05.05.2011	0	0.00053	0	04.05.2012	0	0.00017	0
06.05.2011	0	0.00052	0	05.05.2012	0	0.00028	0
07.05.2011	0	0.00049	0	06.05.2012	0	0.00017	0
08.05.2011	0	0.00052	0	07.05.2012	0	0.00045	0
09.05.2011	0	0.00049	0	08.05.2012	0	0.00067	0
10.05.2011	0	0.00053	0	09.05.2012	0	0.00031	0
11.05.2011	0	0.00057	0	10.05.2012	0	0.00062	0
12.05.2011	0	0.00061	0	11.05.2012	0	0.00041	0
13.05.2011	0	0.00073	0	12.05.2012	0	0.00027	0
14.05.2011	0	0.00053	0	13.05.2012	0	0.00018	0
15.05.2011	0	0.0006	0	14.05.2012	0	0.00006	0
16.05.2011	0	0.00085	0	15.05.2012	0	0.00026	0
17.05.2011	0	0.0006	0	16.05.2012	0	0.13054	0
18.05.2011	0	0.00056	0	17.05.2012	0	0.04801	0
19.05.2011	0	0.00054	0	18.05.2012	0	0.01407	0
20.05.2011	0	0.00057	0	19.05.2012	0	0.00559	0
21.05.2011	0	0.0006	0	20.05.2012	0	0.00703	0
22.05.2011	0	0.00055	0	21.05.2012	0	0.00177	0
23.05.2011	0	0.00057	0	22.05.2012	0	0	0
24.05.2011	0	0.00059	0	23.05.2012	0	0.01146	0
25.05.2011	0	0.00061	0	24.05.2012	0	0.00298	0
26.05.2011	0	0.00074	0	25.05.2012	0	0.00241	0
27.05.2011	0	0.00077	0	26.05.2012	0	0.00237	0
28.05.2011	0	0.00232	0	27.05.2012	0	0.0008	0
29.05.2011	0	0.00085	0	28.05.2012	0	0.00046	0
30.05.2011	0	0.00077	0	29.05.2012	0	0.00038	0
31.05.2011	0	0.00074	0	30.05.2012	0	0.00097	0

01.06.2011	0	0.00072	0	31.05.2012	0	0.00058	0
02.06.2011	0	0.00073	0	01.06.2012	0	0.00078	0
03.06.2011	0	0.00071	0	02.06.2012	0	0.00047	0
04.06.2011	0	0.00069	0	03.06.2012	0	0.00032	0
05.06.2011	0	0.0007	0	04.06.2012	0	0.00023	0
06.06.2011	0	0.00082	0	05.06.2012	0	0.0013	0
07.06.2011	0	0.00076	0	06.06.2012	0	0.00051	0
08.06.2011	0	0.00081	0	07.06.2012	0	0.00029	0
09.06.2011	0	0.00082	0	08.06.2012	0	0.0002	0
10.06.2011	0	0.00113	0	09.06.2012	0	0.00022	0
11.06.2011	0	0.00103	0	10.06.2012	0	0.00018	0
12.06.2011	0	0.0009	0	11.06.2012	0	0.00011	0
13.06.2011	0	0.00091	0	12.06.2012	0	0.00072	0
14.06.2011	0	0.00082	0	13.06.2012	0	0.00031	0
15.06.2011	0	0.00071	0	14.06.2012	0	0.0004	0
16.06.2011	0	0.00111	0	15.06.2012	0	0.00021	0
17.06.2011	0	0.00312	0	16.06.2012	0	0.0004	0
18.06.2011	0	0.0014	0	17.06.2012	0	0.0002	0
19.06.2011	0	0.00118	0	18.06.2012	0	0.00009	0
20.06.2011	0	0.00106	0	19.06.2012	0	0.00001	0
21.06.2011	0	0.00075	0	20.06.2012	0	0.00175	0
22.06.2011	0	0.0006	0	21.06.2012	0	0.0014	0
23.06.2011	0	0.00059	0	22.06.2012	0	0.00081	0
24.06.2011	0	0.00062	0	23.06.2012	0	0.00054	0
25.06.2011	0	0.00129	0	24.06.2012	0	0.00023	0
26.06.2011	0	0.00089	0	25.06.2012	0	0.00006	0
27.06.2011	0	0.00077	0	26.06.2012	0	0.00133	0
28.06.2011	0	0.00068	0	27.06.2012	0	0.00022	0
29.06.2011	0	0.00068	0	28.06.2012	0	0.00006	0
30.06.2011	0	0.00091	0	29.06.2012	0	0.00034	0
01.07.2011	0	0.00082	0	30.06.2012	0	0.00014	0
02.07.2011	0	0.00079	0	01.07.2012	0	0.00006	0
03.07.2011	0	0.00072	0	02.07.2012	0	0.00003	0
04.07.2011	0	0.00069	0	03.07.2012	0	0.00034	0
05.07.2011	0	0.00064	0	04.07.2012	0	0.00034	0
06.07.2011	0	0.0006	0	05.07.2012	0	0.00078	0
07.07.2011	0	0.00059	0	06.07.2012	0	0.00029	0
08.07.2011	0	0.00059	0	07.07.2012	0	0.00051	0
09.07.2011	0	0.00062	0	08.07.2012	0	0.00032	0
10.07.2011	0	0.00059	0	09.07.2012	0	0.00058	0
11.07.2011	0	0.00055	0	10.07.2012	0	0.00121	0
12.07.2011	0	0.00055	0	11.07.2012	0	0.00062	0
13.07.2011	0	0.00064	0	12.07.2012	0	0.00058	0
14.07.2011	0	0.00183	0	13.07.2012	0	0.00039	0
15.07.2011	0	0.00168	0	14.07.2012	0	0.00195	0
16.07.2011	0	0.00152	0	15.07.2012	0	0.00082	0
17.07.2011	0	0.00101	0	16.07.2012	0	0.00032	0
18.07.2011	0	0.001	0	17.07.2012	0	0.00052	0
19.07.2011	0	0.00111	0	18.07.2012	0	0.00116	0
20.07.2011	0	0.00096	0	19.07.2012	0	0.00015	0
21.07.2011	0	0.00088	0	20.07.2012	0	0.00005	0
22.07.2011	0	0.00083	0	21.07.2012	0	0.00073	0
23.07.2011	0	0.00078	0	22.07.2012	0	0.00018	0

24.07.2011	0	0.00077	0	23.07.2012	0	0.00007	0
25.07.2011	0	0.00075	0	24.07.2012	0	0.00007	0
26.07.2011	0	0.0007	0	25.07.2012	0	0.00007	0
27.07.2011	0	0.00067	0	26.07.2012	0	0.00002	0
28.07.2011	0	0.00079	0	27.07.2012	0	0	0
29.07.2011	0	0.00071	0	28.07.2012	0	0	0
30.07.2011	0	0.00067	0	29.07.2012	0	0	0
31.07.2011	0	0.0007	0	30.07.2012	0	0	0
01.08.2011	0	0.00065	0	31.07.2012	0	0.00034	0
02.08.2011	0	0.00062	0	01.08.2012	0	0.00021	0
03.08.2011	0	0.00058	0	02.08.2012	0	0.00009	0
04.08.2011	0	0.00073	0	03.08.2012	0	0.00048	0
05.08.2011	0	0.00281	0	04.08.2012	0	0.00234	0
06.08.2011	0	0.00194	0	05.08.2012	0	0.00074	0
07.08.2011	0	0.00134	0	06.08.2012	0	0.00149	0
08.08.2011	0	0.00102	0	07.08.2012	0	0.00027	0
09.08.2011	0	0.00125	0	08.08.2012	0	0	0
10.08.2011	0	0.00094	0	09.08.2012	0	0	0
11.08.2011	0	0.00084	0	10.08.2012	0	0	0
12.08.2011	0	0.00078	0	11.08.2012	0	0	0
13.08.2011	0	0.00073	0	12.08.2012	0	0	0
14.08.2011	0	0.00077	0	13.08.2012	0	0	0
15.08.2011	0	0.00072	0	14.08.2012	0	0	0
16.08.2011	0	0.00068	0	15.08.2012	0	0	0
17.08.2011	0	0.0008	0	16.08.2012	0	0	0
18.08.2011	0	0.00095	0	17.08.2012	0	0	0
19.08.2011	0	0.00078	0	18.08.2012	0	0	0
20.08.2011	0	0.00083	0	19.08.2012	0	0	0
21.08.2011	0	0.00086	0	20.08.2012	0	0	0
22.08.2011	0	0.00082	0	21.08.2012	0	0.00047	0
23.08.2011	0	0.00071	0	22.08.2012	0	0.00017	0
24.08.2011	0	0.00065	0	23.08.2012	0	0.0001	0
25.08.2011	0	0.00096	0	24.08.2012	0	0.00004	0
26.08.2011	0	0.00084	0	25.08.2012	0	0.001	0
27.08.2011	0	0.00098	0	26.08.2012	0	0.00048	0
28.08.2011	0	0.00137	0	27.08.2012	0	0.00024	0
29.08.2011	0	0.0016	0	28.08.2012	0	0.00019	0
30.08.2011	0	0.00125	0	29.08.2012	0	0.00004	0
31.08.2011	0	0.00112	0	30.08.2012	0	0	0
01.09.2011	0	0.00112	0	31.08.2012	0	0	0
02.09.2011	0	0.00104	0	01.09.2012	0	0	0
03.09.2011	0	0.00091	0	02.09.2012	0	0	0
04.09.2011	0	0.00086	0	03.09.2012	0	0	0
05.09.2011	0	0.00079	0	04.09.2012	0	0	0
06.09.2011	0	0.00179	0	05.09.2012	0	0.00184	0
07.09.2011	0	0.00122	0	06.09.2012	0	0.00022	0
08.09.2011	0	0.00097	0	07.09.2012	0	0.00069	0
09.09.2011	0	0.00682	0	08.09.2012	0	0.00352	0
10.09.2011	0	0.00206	0	09.09.2012	0	0.00091	0
11.09.2011	0	0.00113	0	10.09.2012	0	0.00047	0
12.09.2011	0	0.00086	0	11.09.2012	0	0.00024	0
13.09.2011	0	0.00073	0	12.09.2012	0	0.00049	0
14.09.2011	0	0.00057	0	13.09.2012	0	0.00017	0

15.09.2011	0	0.00059	0	14.09.2012	0	0.00006	0
16.09.2011	0	0.00065	0	15.09.2012	0	0	0
17.09.2011	0	0.0006	0	16.09.2012	0	0	0
18.09.2011	0	0.00054	0	17.09.2012	0	0	0
19.09.2011	0	0.00052	0	18.09.2012	0	0.00012	0
20.09.2011	0	0.00054	0	19.09.2012	0	0	0
21.09.2011	0	0.00051	0	20.09.2012	0	0	0
22.09.2011	0	0.00049	0	21.09.2012	0	0	0
23.09.2011	0	0.00043	0	22.09.2012	0	0	0
24.09.2011	0	0.0004	0	23.09.2012	0	0	0
25.09.2011	0	0.00037	0	24.09.2012	0	0	0
26.09.2011	0	0.00035	0	25.09.2012	0	0	0
27.09.2011	0	0.00034	0	26.09.2012	0	0	0
28.09.2011	0	0.00034	0	27.09.2012	0	0.0001	0
29.09.2011	0	0.00034	0	28.09.2012	0	0	0
30.09.2011	0	0.00034	0	29.09.2012	0	0	0
01.10.2011	0	0.00034	0	30.09.2012	0	0	0
02.10.2011	0	0.00034	0	01.10.2012	0	0	0
03.10.2011	0	0.00033	0	02.10.2012	0	0	0
04.10.2011	0	0.00032	0	03.10.2012	0	0	0
05.10.2011	0	0.00031	0	04.10.2012	0	0	0
06.10.2011	0	0.0003	0	05.10.2012	0	0	0
07.10.2011	0	0.00029	0	06.10.2012	0	0	0
08.10.2011	0	0.00028	0	07.10.2012	0	0	0
09.10.2011	0	0.00026	0	08.10.2012	0	0	0
10.10.2011	0	0.00024	0	09.10.2012	0	0	0
11.10.2011	0	0.00022	0	10.10.2012	0	0.00001	0
12.10.2011	0	0.00033	0	11.10.2012	0	0.00001	0
13.10.2011	0	0.00059	0	12.10.2012	0	0.00002	0
14.10.2011	0	0.00032	0	13.10.2012	0	0.00002	0
15.10.2011	0	0.00023	0	14.10.2012	0	0.00004	0
16.10.2011	0	0.00019	0	15.10.2012	0	0.00002	0
17.10.2011	0	0.00016	0	16.10.2012	0	0.00003	0
18.10.2011	0	0.00016	0	17.10.2012	0	0.00001	0
19.10.2011	0	0.00015	0	18.10.2012	0	0.00001	0
20.10.2011	0	0.00031	0	19.10.2012	0	0.00003	0
21.10.2011	0	0.00027	0	20.10.2012	0	0.00003	0
22.10.2011	0	0.00205	0	21.10.2012	0	0.00002	0
23.10.2011	0	0.00099	0	22.10.2012	0	0.00003	0
24.10.2011	0	0.00049	0	23.10.2012	0	0.00011	0
25.10.2011	0	0.00148	0	24.10.2012	0	0.00004	0
26.10.2011	0	0.00262	0	25.10.2012	0	0.00009	0
27.10.2011	0	0.00187	0	26.10.2012	0	0.00029	0
28.10.2011	0	0.00135	0	27.10.2012	0	0.00006	0
29.10.2011	0	0.00102	0	28.10.2012	0	0.00003	0
30.10.2011	0	0.00083	0	29.10.2012	0	0	0
31.10.2011	0	0.0007	0	30.10.2012	0	0	0
01.11.2011	0	0.00049	0	31.10.2012	0	0	0
02.11.2011	0	0.00036	0	01.11.2012	0	0	0
03.11.2011	0	0.00036	0	02.11.2012	0	0.00004	0
04.11.2011	0	0.0003	0	03.11.2012	0	0.00002	0
05.11.2011	0	0.00039	0	04.11.2012	0	0	0
06.11.2011	0	0.00052	0	05.11.2012	0	0.00008	0

07.11.2011	0	0.00037	0	06.11.2012	0	0.00014	0
08.11.2011	0	0.00028	0	07.11.2012	0	0.00007	0
09.11.2011	0	0.00033	0	08.11.2012	0	0.00006	0
10.11.2011	0	0.00025	0	09.11.2012	0	0.00013	0
11.11.2011	0	0.00015	0	10.11.2012	0	0.0001	0
12.11.2011	0	0.00014	0	11.11.2012	0	0.00007	0
13.11.2011	0	0.00009	0	12.11.2012	0	0.00016	0
14.11.2011	0	0.00006	0	13.11.2012	0	0.00029	0
15.11.2011	0	0.00004	0	14.11.2012	0	0.00018	0
16.11.2011	0	0.00002	0	15.11.2012	0	0.00001	0
17.11.2011	0	0	0	16.11.2012	0	0.00001	0
18.11.2011	0	0	0	17.11.2012	0	0.00006	0
19.11.2011	0	0	0	18.11.2012	0	0.00016	0
20.11.2011	0	0	0	19.11.2012	0	0.00008	0
21.11.2011	0	0	0	20.11.2012	0	0.00014	0
22.11.2011	0	0	0	21.11.2012	0	0.00011	0
23.11.2011	0	0	0	22.11.2012	0	0.00024	0
24.11.2011	0	0	0	23.11.2012	0	0.00004	0
25.11.2011	0	0	0	24.11.2012	0	0.00038	0
26.11.2011	0	0	0	25.11.2012	0	0.00044	0
27.11.2011	0	0	0	26.11.2012	0	0.00046	0
28.11.2011	0	0	0	27.11.2012	0	0.00074	0
29.11.2011	0	0	0	28.11.2012	0	0.00065	0
30.11.2011	0	0	0	29.11.2012	0	0.00084	0
01.12.2011	0	0	0	30.11.2012	0	0.00042	0
02.12.2011	0	0	0	01.12.2012	0	0.00008	0
03.12.2011	0	0	0	02.12.2012	0	0.00002	0
04.12.2011	0	0	0	03.12.2012	0	0.00001	0
05.12.2011	0	0	0	04.12.2012	0	0	0
06.12.2011	0	0.00001	0	05.12.2012	0	0	0
07.12.2011	0	0	0	06.12.2012	0	0	0
08.12.2011	0	0	0	07.12.2012	0	0	0
09.12.2011	0	0	0	08.12.2012	0	0	0
10.12.2011	0	0	0	09.12.2012	0	0	0
11.12.2011	0	0.00007	0	10.12.2012	0	0	0
12.12.2011	0	0	0	11.12.2012	0	0	0
13.12.2011	0	0	0	12.12.2012	0	0	0
14.12.2011	0	0	0	13.12.2012	0	0	0
15.12.2011	0	0	0	14.12.2012	0	0	0
16.12.2011	0	0.00006	0	15.12.2012	0	0	0
17.12.2011	0	0	0	16.12.2012	0	0	0
18.12.2011	0	0.00001	0	17.12.2012	0	0	0
19.12.2011	0	0	0	18.12.2012	0	0	0
20.12.2011	0	0	0	19.12.2012	0	0	0
21.12.2011	0	0	0	20.12.2012	0	0	0
22.12.2011	0	0	0	21.12.2012	0	0	0
23.12.2011	0	0	0	22.12.2012	0	0	0
24.12.2011	0	0	0	23.12.2012	0	0	0
25.12.2011	0	0.00002	0	24.12.2012	0	0	0
26.12.2011	0	0	0	25.12.2012	0	0	0
27.12.2011	0	0.00012	0	26.12.2012	0	0	0
28.12.2011	0	0.00002	0	27.12.2012	0	0	0
29.12.2011	0	0	0	28.12.2012	0	0	0

30.12.2011	0	0	0	29.12.2012	0	0	0
31.12.2011	0	0	0	30.12.2012	0	0	0
					0	0	0