



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

Masterarbeit

Ermittlung von Ansätzen zur Minderung des
Anteils fossiler Energieträger anhand einer
Analyse des Energieinputs und -outputs eines
österreichischen Modell- und Praxisbetriebs

verfasst von

Stefan Michael RESETAR, BSc.

im Rahmen des Masterstudiums

Agrar- und Ernährungswirtschaft

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Wien, Mai 2022

Betreut von:

Univ.Prof. DI. Dr. Gronauer Andreas

Institut für Landtechnik

Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Danksagung

Ich habe lange überlegt bei wem ich mich bedanken kann/sollte/muss – man kann es nennen wie man will – hier jetzt, zum Abschluss meines Studiums.

Ein Dankeschön gilt Univ. Prof. DI. Dr. Andreas Gronauer für die guten Inputs während des Masterseminars und für die gute Erklärung des Ablaufs der Masterarbeit. Weiters möchte ich mich bei DI. Dr. Iris Kral bedanken, dass sie sich Zeit genommen hat in einem Zoom-Meeting, gemeinsam mit Alexander Bauer, mir mit ihrer fachlichen Expertise weitere Perspektiven aufzuzeigen, die ich in die Arbeit miteinbringen kann. Besonders bedanken möchte ich mich bei Alexander Bauer, der meine erste Ansprechperson war und mich mit seiner Hilfsbereitschaft, mit seinen Vorschlägen und seinem Fachwissen von Beginn weg unterstützt hat, nicht müde wurde auftauchende Fragen zu beantworten und damit wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ein Dank gilt auch meinen Eltern, auch wenn sie mich am Ende des Studiums mit der Frage „Wie weit bist mit da Masterarbeit?“ ein wenig „strapaziert“ haben. Danke für die Unterstützung auf allen Ebenen während der gesamten Studienzeit!

Ich möchte mich auch bei meiner Schwester bedanken, nicht nur weil sie sich das genau hier, wahrscheinlich, von mir erwarten würde und auch nicht nur, weils mir um 00:17 Uhr, ca. 5 Minuten bevor ich die Masterarbeit abgebe, gerade einfällt und ich evtl. ein schlechtes Gewissen hätte sonst; Nein, vor allem möchte ich mich für die Unterstützung ganz allgemein bedanken und, schlussendlich wirst du's so auch in der Form (wahrscheinlich) nicht mehr so oft hören – Angewohnheit aus der Kindheit – vor deinem 80. Geburtstag: Ich hab dich evtl. doch (bissl) lieb.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meiner Oma und meinem Opa für die Unterstützung all die Jahre bedanken, ihr habt mich immer wieder unterstützt und motiviert gaszugeben und wart/seid auch heute noch für uns alle wortwörtlich „a Bank“, nicht nur wenn's finanzielle Probleme gibt, sondern vor allem auch bei jedem anderen Problem.

Ich möchte mich außerdem bei meiner Freundin bedanken. Auch, gerade weil oder obwohl du so eine Nervensäge bist, bist du all die Jahre eine essenzielle Stütze gewesen und hast mich gerade bei dieser Arbeit motiviert sie abzuschließen. Danke außerdem fürs mehrmalige Korrekturlesen der Arbeit, mir ist bewusst, dass dies viel Zeit in Anspruch nimmt und nicht selbstverständlich ist.

Last but not least möchte ich mich bei all meinen Freunden bedanken, die mich im Laufe der Studienzeit begleitet haben und mir, vor allem, an den 125 Samstagen im Zeitraum dieser Masterarbeit geholfen haben mich „abzulenken“. Rückblickend will ich die Anzahl der leeren Flaschen und langen Nächte nicht so genau wissen, ändern würde ich dennoch nichts daran.

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	VII
Abstract.....	VIII
1 Einleitung	1
2 Problemstellung	2
2.1 Der Wandel der Landwirtschaft vom 19. Jahrhundert bis heute	2
2.2 Energieverbrauch – Allgemein	4
2.3 Energieverbrauch – Landwirtschaft.....	4
2.4 Emissionen als Folge der Landwirtschaft in Österreich	6
2.5 Energieträger in der Landwirtschaft	7
2.5.1 Indirekte Energieträger	8
2.5.2 Direkte Energieträger	11
2.6 Ansätze den fossilen Energieverbrauch zu senken.....	14
3 Zielsetzung.....	21
4 Material und Methoden.....	22
4.1 Methode	22
4.2 Material.....	24
4.2.1 Pflanzenschutzmittel	24
4.2.2 Saatgut	24
4.2.3 Düngemittel.....	24
4.2.4 Dieseltreibstoff	25
4.2.5 Transportaufwand	26
4.2.6 Trocknungsaufwand.....	26
4.2.7 Maschinenaufwand	26
4.2.8 Ertrag	27
4.2.9 Systembeschreibung.....	27
4.2.9.1 Modellbetrieb	27
4.2.9.2 Landwirtschaftlicher Betrieb Resetar	30
4.2.10 Systemgrenzen	32

5	Ergebnisse und Diskussion	34
5.1	Modellbetrieb	34
5.1.1	Pflanzenschutzmittel	34
5.1.2	Saatgut	35
5.1.3	Düngemittel.....	35
5.1.4	Dieseltreibstoff	36
5.1.5	Transportaufwand	42
5.1.6	Trocknungsaufwand.....	43
5.1.7	Maschinenaufwand	44
5.1.8	Ertrag	46
5.1.9	Vergleich zwischen Energieinput und -output.....	46
5.2	Landwirtschaftlicher Betrieb Resetar.....	48
5.2.1	Pflanzenschutzmittel	48
5.2.2	Saatgut	49
5.2.3	Düngemittel.....	50
5.2.4	Dieseltreibstoff	50
5.2.5	Transportaufwand	53
5.2.6	Trocknungsaufwand.....	54
5.2.7	Maschinenaufwand	54
5.2.8	Ertrag	57
5.2.9	Vergleich zwischen Energieinput und -output.....	57
5.3	Vergleich landwirtschaftlicher Betrieb Resetar mit Modellbetrieb	59
5.4	Möglichkeiten den Einsatz fossiler Energieträger zu verringern	59
5.4.1	Dieseltreibstoff	60
5.4.2	Trocknungsaufwand.....	61
5.4.3	Stickstoffdünger	61
5.4.4	Verringerung der fossilen Energieträger.....	62
6	Schlussfolgerung.....	64
7	Weiterführende Arbeiten.....	65

8 Zusammenfassung.....	66
Literaturverzeichnis	68
Abkürzungsverzeichnis.....	78
Abbildungsverzeichnis.....	79
Tabellenverzeichnis.....	80

Kurzfassung

Das Fundament der Landwirtschaft bildet die Erzeugung von Biomasse in Form von Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Brennstoffen und Rohstoffen. Wie und vor allem wie effektiv diese Produkte erzeugt wurden, veränderte sich im Laufe der Menschheit laufend, da mit fortschreitender Entwicklung neue Maschinen und Methoden zum Einsatz kamen bzw. in weiterer Folge noch kommen werden.

Die vorliegende Masterarbeit gibt einen kurzen Überblick über die Entwicklung des Sektors Landwirtschaft und beschäftigt sich auch mit der Frage, wie groß die heutigen Energieinputs und -outputs in der Landwirtschaft sind. Um diese zu erhalten, wurden die Daten von einem burgenländischen Ackerbaubetrieb gesammelt. Jeder einzelne Bereich der Energieinputs und -outputs wurde extra berechnet und in der gemeinsamen Einheit MJ/ha zusammengefasst. Weiters wurde ein Modellbetrieb aufgestellt, bei welchem dieselben Berechnungen wie beim genannten Praxisbetrieb durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse der Berechnungen lassen folgende Schlüsse zu: Beim Praxisbetrieb können, durch die heutige Technik, bei jeder Kultur zumindest 31,43 % der fossilen Energieträger eingespart werden. Dieser Wert ist jedoch abhängig von der Kultur und war in der Fruchtfolge dieses Betriebs bei anderen Kulturen noch höher. Beim Modellbetrieb ergaben die Berechnungen ein Einsparungspotential von zumindest 39,30 %.

Betrachtet man die einzelnen Kategorien der Energieinputs gesondert wird deutlich, dass der Anteil des Dieserverbrauchs einen großen Faktor ausmacht. Berechnet man den durchschnittlichen Anteil dieses Verbrauchs für den Modellbetrieb und den Praxisbetrieb ergibt dies 29,23 %. Mit fast einem Drittel des Gesamtenergieinputs stellt sich der Dieselanteil damit als ein entscheidender Faktor in den Erhebungen der beiden Betriebe dar, vor allem da dieser Anteil an fossilen Energieträgern heute bereits realistisch ersetzbar wäre.

Abstract

The basis of agriculture is the production of food, feed, fibre and fuel. The production of these goods changed and developed with other technologies. New technologies offered new possibilities for new machines and methods.

This master thesis shows the development of the agricultural sector and answers the question which energy inputs and outputs are needed and are produced during the whole production process. All these in- and outputs are collected from a cropping farm in Austria to get a data base about the needed information. In addition to this a fictitious model farm was invented and the same information were collected with a basic literature research.

The result of these calculations shows that the cropping farm in Austria can save, by today's technology, at least 31,43 % of fossil energy inputs. But this value depends on the seeded plant and could have been higher with other plants. The fictitious model farm showed at least 39,30 % potential savings.

If we look at the categories of the energy inputs, we can clearly see that the fuel consumption is the biggest factor. Nearly one third of the whole energy inputs are used by the fuel consumption. This contingent could be already replaced today with renewable fossil free alternatives.

1 Einleitung

Seit Beginn der Menschheit hat die Landwirtschaft das Privileg Sonnenenergie dank der Photosynthese von verschiedenen Nutzpflanzen, in Form von Biomasse, speichern und nutzen zu können (Ramharter 1999).

Die technische Entwicklung und vor allem die Industrialisierung ließ den landwirtschaftlichen Sektor jedoch nicht außen vor. Durch die Modernisierung der Technik und durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse konnten die Landwirtinnen und Landwirte den Ertrag pro Hektar laufend steigern (Baeumer 1992).

In Zeiten des Klimawandels bildet das Thema der Energieträger und der Energieverbraucher immer wieder das Zentrum von Diskussionen. Der Sektor Landwirtschaft kann sich diesen Diskussionen nicht entziehen, weil gerade die Landwirtschaft auf zwei Seiten steht: Zum einen verursacht der Klimawandel veränderte klimatische Bedingungen auf verschiedenen Zeitskalen (langjährig bis saisonal) und auch Wetterextreme mit hohem Schadpotential für die Landwirtschaft, zum anderen wird das Thema der Energieverbräuche in der Landwirtschaft in den Mittelpunkt gerückt (Eitzinger 2010).

Diese Arbeit befasst sich mit den fossilen Energieträgern im landwirtschaftlichen Bereich. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird der Einsatz von fossilen indirekten und direkten Energieträgern bzw. der Energieoutput in der ackerbaulichen Landwirtschaft analysiert. In diesen Punkten werden im ersten Schritt die einzelnen Energieinputs und -outputs, welche in einem landwirtschaftlichen Betrieb vom Zeitpunkt der Saatbeetbereitung bis inklusive der Ernte und Trocknung anfallen, erklärt. Anschließend werden Energieäquivalente, auf Basis einer Literaturrecherche, für die Inputs und Outputs analysiert und festgelegt, um die verschiedenen Bereiche in einer gemeinsamen Einheit zusammenzufassen.

Um diese Berechnungen möglichst praxisnah darzustellen, werden im Rahmen dieser Masterarbeit die notwendigen Daten eines Praxisbetriebs aus dem Südburgenland erhoben. Weiters wird ein Modellbetrieb auf Basis von Literaturrecherchen erstellt und mit dem Praxisbetrieb verglichen. Ebenso werden in dieser Arbeit Ansätze betrachtet, welche als Alternative zur Einsparung fossiler Energieträger verwendet werden können.

2 Problemstellung

2.1 Der Wandel der Landwirtschaft vom 19. Jahrhundert bis heute

Die Landwirtschaft in Österreich unterlag in den letzten Jahren und Jahrzehnten großen Veränderungen. Diese betrafen die gesellschaftliche, die wirtschaftliche, die politische und die technische Ebene; diese Masterarbeit beschäftigt sich mit letzterer (Bundesministerium für Landwirtschaft 2020; Sandgruber 2002).

Die Bäuerinnen und Bauern waren immer raum- und zeitabhängig, da sie dem Wetter und damit der Natur vollkommen frei ausgesetzt waren. Zu einem großen Teil trifft diese Tatsache auch heute noch zu, jedoch konnte die Abhängigkeit dank Hallen-, Glashaas- und Folientunnelproduktion in gewissen Bereichen der Landwirtschaft reduziert werden (Sandgruber 2002).

Der Anbau landwirtschaftlicher Nutzpflanzen dient nach *Baeumer (1992)* primär für die Erzeugung folgender Rohstoffe:

- Nahrungsmittel für die Menschen,
- Futtermittel für die Nutztiere,
- Rohstoffe für Industrieprodukte,
- Brennstoffe.

Petig et al. (2017) beschreiben die Nutzungspfade für landwirtschaftliche Produkte mit food, feed, fibre und fuel. Diese Beschreibung entspricht der von *Baeumer (1992)*, jedoch finden heute meistens die englischen Begriffe Verwendung.

Im Zuge der Industrialisierung im 19. Jahrhundert kam es in der Landwirtschaft zu enormen technischen Entwicklungen. Nach *Koester und von Cramon-Taubadel (2019)* versteht man unter technischem Fortschritt die Einführung neuer Produktionsverfahren, welche es ermöglichen, mit dem gegenwärtigen Faktoreinsatz eine größere Produktionsmenge herzustellen bzw. die gegebene Produktionsmenge mit einem kleineren Faktoreinsatz zu erzeugen. Ebenso versteht man unter technischem Fortschritt mit dem gegenwärtigen Faktoreinsatz dieselbe Menge an Produkten mit besserer Qualität zu schaffen bzw. durch qualitativ verbesserten Faktoreinsatz die Produktionsmenge zu erhöhen. Neue Produkte zu schaffen zählt ebenfalls zum technischen Fortschritt (Koester und von Cramon-Taubadel 2019).

Dank neuer Energiequellen konnten immer größere Teile der Weltbevölkerung mit immer niedrigeren landwirtschaftlichen Arbeitskräften ernährt werden. Der Faktor der

menschlichen Arbeit wurde weiters durch den Einsatz von Maschinen laufend geringer (Baeumer 1992). Dadurch kam es zu einer Verringerung der Arbeitskräfte im Primärsektor hin zum Sekundär- und Tertiärsektor (Pommerening 1974).

Ebenso wurde der Energieoutput pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche dank Mineraldüngern stark erhöht, besonders zu erwähnen ist in diesem Fall der mineralische Stickstoffdünger (Baeumer 1992). Ernteaufträge auf Grund von Schädlingen und Unkräutern konnten durch chemische Pflanzenschutzmittel reduziert werden. Zusätzlich sichern und erhöhen Pflanzenschutzmittel die landwirtschaftlichen Flächenerträge und leisten dadurch einen wesentlichen Beitrag zu einer höheren Produktivität (Noleppa und von Witzke 2013). Weiters wurden neue Züchtungsmethoden entdeckt und genutzt, dank welcher die Kulturpflanzen resistenter und widerstandsfähiger gegen Pathogene gemacht wurden und weiterhin werden (Baeumer 1992; Dahinden und Paschke 2018). Diese Veränderungen hatten einen Anstieg des Energieeinsatzes pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche zur Folge (Baeumer 1992). Bei genauerer Betrachtung der Zahlen wird der technische Fortschritt deutlich (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2021): Im Jahr 1960 konnte eine Landwirtin bzw. ein Landwirt 17 Menschen ernähren, bis 2019 stieg diese Zahl auf 137 in Deutschland.

Betrachtet man den Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen wird ihre Bedeutung erkennbar. Im Jahr 2006 wurden österreichweit auf 188.000 Betrieben etwa 373.000 Traktoren gezählt. Durch die laufend fortschreitende Entwicklung der Traktoren und Landmaschinen arbeiten diese Geräte immer energieeffizienter und damit umwelt- und bodenschonender (Sandgruber 2002). Diese Entwicklung ist auch eine Folge der Abgasgesetzgebung der verschiedenen Entscheidungsträger, da Landmaschinenhersteller dadurch gefordert werden, ihre Maschinen ständig zu modernisieren. In der Europäischen Union wird die Abgasgesetzgebung in Stufen von I bis IV eingeteilt: Stufe I bis III A konnte durch technische Entwicklung am Motor erreicht werden, Stufe III B und IV kann durch eine zusätzliche Abgasnachbehandlung erreicht werden (Reckleben et. al. 2013). Die Untersuchungen von *Reckleben et. al. (2013)* zeigten, dass mit dem Einsatz eines AdBlue-Systems Einsparungen größer 10 % beim Dieserverbrauch erreicht werden können. Bei diesem System werden Stickoxidemissionen in einem Katalysator in Stickstoff und Wasser umgewandelt (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. 2020).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Agrartechnik ein fester Bestandteil der landwirtschaftlichen Produktion ist. Mittlerweile ist es für Landwirtinnen und Landwirte praktisch nicht mehr möglich, ohne adäquate neue Maschinen und technische Hilfsmittel konkurrenzfähig ihren eigenen Betrieb zu bewirtschaften. Dadurch werden die

landwirtschaftlichen Betriebe gezwungen, immer wieder zu modernisieren und in neue Geräte zu investieren. Diesem Konkurrenzdruck steht jedoch folgender Vorteil gegenüber: Durch die gesteigerte Produktionsfähigkeit dank der Industrialisierung, neuer Düngemittel und Pflanzenschutzmittel, gelang es der Landwirtschaft, die immer wachsende Weltbevölkerung zu ernähren.

2.2 Energieverbrauch – Allgemein

Der Energieverbrauch ist seit dem zweiten Weltkrieg weltweit konstant gestiegen. Es gab nur im Zeitraum von 1979 bis 1982 und im Jahr 2008 einen leichten Rückgang, welcher auf eine weltweite Ölkrise (1979 bis 1982) bzw. auf die weltweite Rezession (2008) zurückzuführen ist (Lippelt und Sindram 2011). Im Jahr 2018 lag der weltweite Energieverbrauch bei etwa 590 Exajoule. Dieser Verbrauch setzte sich primär aus der Nutzung von Erdöl (etwa 34 %), Kohle (etwa 27 %) und Erdgas (etwa 24 %) zusammen. Kernenergie und erneuerbare Energiequellen machten lediglich jeweils 4 % aus (Breitkopf 2020b).

China zählt aufgrund der hohen Einwohnerzahl nicht zu den größten Energieverbrauchern pro Kopf, jedoch liegt der Gesamtenergieverbrauch des Landes an erster Stelle (Breitkopf 2020a). Der chinesische Energieverbrauch beruht sehr stark auf dem fossilen Energieträger Kohle, welcher in China sowohl für die Wärmeversorgung als auch für die Elektrizitätsproduktion verwendet wird (Crastan 2016).

Europa befindet sich hinsichtlich des Energieverbrauchs hinter den USA und China an dritter Stelle mit einem Anteil von etwa 12 % am gesamten weltweiten Energieverbrauch (International Energy Agency 2020). Innerhalb der EU gibt es jedoch große Unterschiede, wenn man die Elektrizitätsproduktion und damit den Verbrauch von fossilen Energien betrachtet. Deutschland und Italien setzen bei der Produktion sehr stark auf fossile Energieträger. Frankreich und Schweden hingegen weisen eine ähnliche Struktur wie die Schweiz auf, bei welcher die Erzeugung sehr stark auf Wasserkraft und Kernenergie basiert. Vergleicht man die Emissionen der Energieerzeugung der EU-15 Staaten mit denen der OECD-Staaten so haben die EU-15 Staaten relativ gesehen bessere Werte. Die EU-15 Staaten produzieren 181 gCO₂/kWh, die OECD-Staaten 209 gCO₂/kWh (Crastan 2016).

2.3 Energieverbrauch – Landwirtschaft

Einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bestätigen einen Zusammenhang zwischen steigendem Energieverbrauch und steigender landwirtschaftlicher Produktivität. Wie bereits in Kapitel 2.1 erklärt, ist der Hauptgrund für die steigende Produktivität der technische Fortschritt, der unter anderem auf den Einsatz von Maschinen zurückzuführen

ist, welche Energie benötigen. Allgemein ist hier anzumerken, dass der Energieeinsatz in der Landwirtschaft weltweit variiert (Rokicki et. al. 2021). Im folgenden Kapitel wird der Energieverbrauch in der Landwirtschaft von den USA, von China und von der Europäischen Union beschrieben.

Die USA beanspruchen etwa 16 % des Weltenergiebedarfs (Crastan 2016). 2014 lag der Anteil der amerikanischen Landwirtschaft bei 1,7 % am gesamten Primärenergieverbrauch der USA (Hunt et. al. 2020). Umgerechnet, basierend auf dem Jahresverbrauch von 2014, entspricht dies einem Energieverbrauch von 1,64 Exajoule (BP 2018). Der Energieinput im Sektor Landwirtschaft ist in den letzten Jahren dennoch gesunken (Rokicki et. al. 2021).

Die Landwirtschaft in China beruht heute noch stark auf dem Einsatz von menschlicher Arbeitskraft. Damit sinkt zwar der Einsatz von fossilen Treibstoffen, jedoch wird diese Einsparung durch den übermäßigen Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln wieder verbraucht. China benötigt etwa ein Drittel der globalen Pflanzenschutz- und Düngemittel auf weniger als 10 % des weltweiten Ackerlandes. Damit übersteigt China den Weltdurchschnitt um das Doppelte (Deutsche Vertretung in China 2020).

Etwa 47 % der verwendeten Landfläche in Europa werden für die landwirtschaftliche Produktion beansprucht. Knapp 50 % dieser Fläche werden ausschließlich für die Produktion von pflanzlichen Produkten verwendet. Wie auch in den USA ist der Energieinput in der Landwirtschaft in der Europäischen Union, gesamt betrachtet, gesunken. Wirft man jedoch einen genaueren Blick auf die europäische Situation, sieht man, dass die westlichen europäischen Staaten den Input und damit Ressourcen einsparen konnten, die östlichen Staaten jedoch nicht (Rokicki et. al. 2021).

Energieverbrauch – Landwirtschaft Österreich

Die Primärenergieerzeugung betrug in Österreich im Jahr 2018 etwa 500 Petajoule (0,5 Exajoule), wobei 45 % von biogenen Energieträgern stammen. Der Energieverbrauch in der österreichischen Landwirtschaft hingegen betrug 2018 etwa 31 Petajoule (0,031 Exajoule). Hauptenergieträger in diesem Sektor sind folgende (Bundesministerium für Landwirtschaft 2020):

- Diesel (40,2 %),
- Elektrische Energie (18,7 %),
- Biogene Brenn- und Treibstoffe (17,4 %),
- Brennholz (15,0 %),
- Erdgas (4,1 %).

Der Energieverbrauch der österreichischen Landwirtschaft ist 2018, verglichen mit dem Energieverbrauch von 2017, um etwa 41 % gestiegen. Im Jahr 2017 verbrauchte die Landwirtschaft 22,041 Petajoule (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus 2019).

2.4 Emissionen als Folge der Landwirtschaft in Österreich

Der Bereich Landwirtschaft war im Jahr 2018 für 8,2 Mio. Tonnen Kohlendioxidäquivalent verantwortlich. Diese Menge entspricht 10,3 % der gesamten österreichischen Treibhausgasemissionen und ist auf der Abbildung 1 ersichtlich. Diese Abbildung zeigt, dass die Sektoren Verkehr, Landwirtschaft, Gebäude, Industrie und Energie im Jahr 2018 als die Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen (ohne Emissionshandel) galten. Trotz der Tatsache, dass von 2017 auf 2018 die Emissionen um 1,2 % und im Vergleich zum Jahr 1990 sogar um 13,7 % zurückgegangen sind, konnte das sektorale Maximum des Klimaschutzgesetzes von 7,9 Mio. Tonnen um 0,3 Mio. Tonnen nicht eingehalten werden (Anderl et. al. 2020).

Hauptverantwortlich für die Abnahme der Treibhausgasemissionen von 2017 auf 2018 sind der rückläufige Viehbestand sowie die geringere Menge an eingesetzten Mineraldüngern (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus 2019):

- Schweinehaltung -1,5 %,
- Milchkuhhaltung -1,9 %,
- Andere Rinderhaltung -1,4 %,
- Mineraldüngerausbringung -3,9 %.

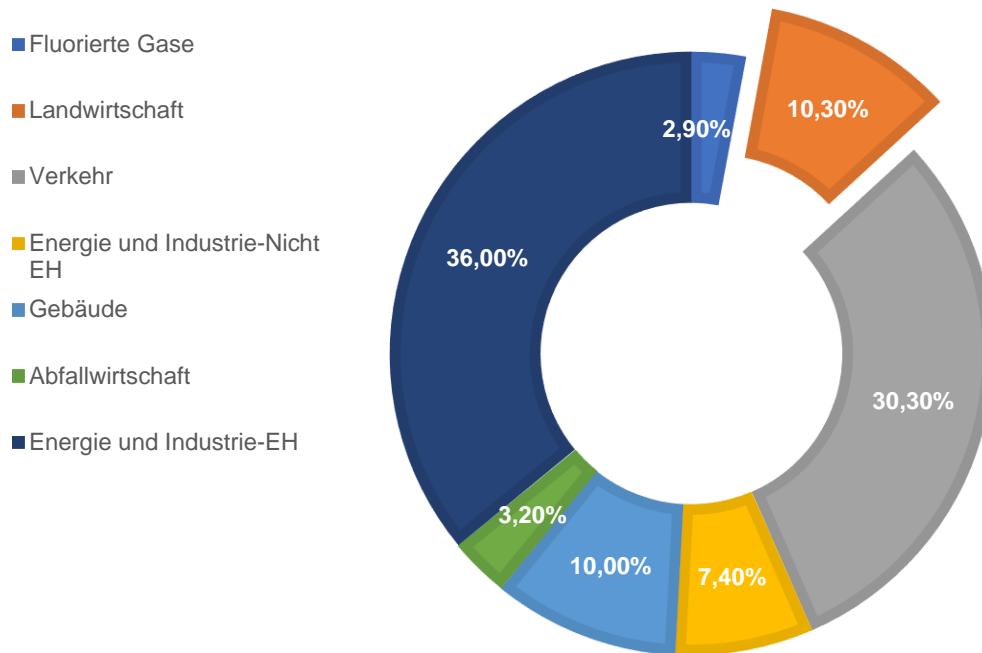


Abbildung 1 Treibhausgasemissionen nach Sektoren 2018 (Anderl et. al. 2020)

Der landwirtschaftliche Sektor umfasst grundsätzlich die beiden Treibhausgase Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O); diese stammen vor allem aus der Viehhaltung, der Grünlandbewirtschaftung und dem Ackerbau. Weiters wird Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus der Harnstoffanwendung, der Kalkdüngung und dem Einsatz landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge und Geräte emittiert. Gemäß der Sektoreinteilung nach den bestehenden Gesetzen sind die durch die Nutzung der fossilen Energieträger verursachten Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft zuzurechnen (Anderl et. al. 2020).

2.5 Energieträger in der Landwirtschaft

In natürlichen Ökosystemen läuft der Stoff- und Energiehaushalt ohne Einfluss des Menschen ab (Brechner et. al. 2021). Durch den Eingriff der Landwirtinnen und Landwirte werden natürliche Systeme zu landwirtschaftlich genutzten Ökosystemen. Wenn Energie in Form von fossilen Energieträgern hinzugefügt wird (Energieinputs), spricht man in der Literatur von Agrarökosystemen. Hierbei unterscheidet man folgende Bereiche (Hülsbergen 2003):

- Indirekte Energieträger (Pflanzenschutzmittel, Düngemittel etc.),
- Direkte Energieträger (Treibstoffe, Strom etc.).

Da es sich bei den Energieoutputs im Fall von landwirtschaftlichen Ackerbaubetrieben ausschließlich um Energiewerte der Ernteerträge handelt, wird dieser Punkt in Kapitel Material und Methoden näher beschrieben.

Sonnenenergie, welche von Pflanzen durch natürliche Prozesse umgesetzt wird, gilt nicht als Energieträger in der landwirtschaftlichen Produktion (Hülsbergen 2003).

2.5.1 Indirekte Energieträger

Unter indirekten Energieträgern werden jene Energieträger verstanden, welche zur Produktion von Betriebsmitteln wie zum Beispiel Düngemittel, Saatgut, Maschinen und Pflanzenschutzmittel benötigt werden (Werschnitzky et. al. 1987). Im folgenden Kapitel werden die Pflanzenschutzmittel, das Saatgut, die Maschinen und die Düngemittel beschrieben.

Pflanzenschutzmittel

Der Schädlings- und Krankheitsbefall wird durch verschiedene Faktoren wie beispielsweise das Anbauverfahren, die Fruchtfolge, die Witterungsbedingungen und die Eigenschaften des Bestandes beeinflusst (Aufhammer 1998). Pflanzenbauliche Maßnahmen wie eine vielfältige Fruchtfolge, Anbaupausen, Zwischenfrüchte, Aussaatstärke und Aussaatzeitpunkt werden als vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen bezeichnet (Schütz et. al. 2020).

Weitere Pflanzenschutzmaßnahmen sind mechanischer, biologischer und chemischer Pflanzenschutz (Thiel et. al. 2019). Der mechanische Pflanzenschutz beginnt bereits vor der Aussaat mit der Bodenbearbeitung. Nach der Saat kommt es zum Einsatz vom Striegel und verschiedenen Hackgeräten, entscheidend beim mechanischen Pflanzenschutz ist der Zeitpunkt der Arbeit (Gerstl 2021). Biologischer Pflanzenschutz beschreibt den Einsatz lebender Organismen (Nützlinge) und artspezifischer technischer Maßnahmen (biotechnische Maßnahmen) zur Befallsüberwachung, Vorbeugung und direkter Bekämpfung von Schädlingen (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2019). Chemischer Pflanzenschutz beinhaltet den Einsatz industriell hergestellter Mittel zur Bekämpfung von Schädlingen, Krankheiten und Unkraut. Die chemischen Pflanzenschutzmittel werden, je nach Einsatzbereich, als Fungizide, Herbizide und Insektizide klassifiziert (PCC Group 2021).

Primäre Wirkung aller Pflanzenschutzmittel ist der Ertragseffekt, da durch den Einsatz verschiedener Wirkstoffe höhere und stabilere Ernten erzielt werden. Ohne den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln gäbe es in Deutschland beispielsweise Ertragsverluste von bis zu 32 % und es käme zu einem Wohlfahrtsverlust von bis zu ca. 4 Milliarden Euro (von Witzke und Noleppa 2013).

Je nach Berechnungsmethode und Aktualität der Publikation der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterscheiden sich die Energiemengen, welche für die Produktion der Fungizide, Insektizide und Herbizide benötigt werden. Die Werte von Badger et. al. stammen aus dem Jahr 1999, die Werte von Deike et. al. aus dem Jahr 2010 und die Werte von Moitzi aus dem Jahr 2012. Die verschiedenen Energiewerte sind in Tabelle 1 dargestellt (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Moitzi 2012).

Tabelle 1 Energieaufwand für die Herstellung von PSM (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Moitzi 2012)

Pflanzenschutzmittel	Badger et. al. (1999)	Deike et. al. (2010)	Moitzi (2012)	Einheit
Fungizide	168,0	196,0	177,0	MJ/kg
Insektizide	296,2	237,0	296,0	MJ/kg
Herbizide	290,9	288,0	259,0	MJ/kg

Saatgut

Bevor Saatgut abgepackt, verkauft und verwendet werden kann, muss es nach der Ernte getrocknet, gereinigt und behandelt werden. Wenn das Saatgut nach der Ernte feucht gelagert wird, würde dieses beginnen zu verderben und damit in kurzer Zeit unbrauchbar werden. Weiters muss Saatgut vor der Weitergabe und der Verwendung frei von Fremdstoffen wie Unkräutern, kleinen Steinen und Schädlingen sein, da diese Faktoren andernfalls die Keimfähigkeit und damit verbunden die Qualität beeinflussen können. Je nach Pflanze wird das Saatgut zusätzlich noch vor dem Verpacken gebeizt beziehungsweise beimpft (Reinsaat KG 2020).

Bei gewissen Saatgutarten sind des Weiteren spezielle Arbeitsschritte notwendig. Bei Hybrid-Saatgut wie Mais beispielsweise müssen die Pflanzen entfahnt werden, um die Selbstbestäubung zu verhindern. Durch diesen zusätzlichen Arbeitsschritt, welcher heute fast ausschließlich maschinell durchgeführt wird, entstehen zusätzliche Emissionen (Limagrain GmbH 2020).

Aus diesen Gründen haben die verschiedenen Saatgutpflanzen unterschiedlich hohe Energieaufwände für ihre Produktion. So benötigt, um dies anhand eines Beispiels zu verdeutlichen, die Produktion von Getreidesaatgut einen Energieaufwand von 13 MJ/kg und Maissaatgut 100 MJ/kg (Badger et. al. 1999). Die weiteren Werte, welche für die Berechnungen in dieser Masterarbeit verwendet wurden, werden in Kapitel 4.2.2. beschrieben.

Maschinen

Wie in Kapitel 2.1 erwähnt, steigt die Fläche, welche ein einzelner landwirtschaftlicher Betrieb bearbeiten kann bzw. konnte, immer weiter an (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2021). Die Energieaufwände für die Produktion von landwirtschaftlichen Maschinen, welche für die aktuellen Aufgaben benötigt werden, „wachsen“ durch die steigenden Größen und Gewichte der Maschinen ebenso mit den expandierenden Betrieben (Bundesministerium für Landwirtschaft 2020; Scholz 1997).

Um den Energieaufwand für die Herstellung, den Unterhalt und die Entsorgung der verschiedenen Maschinen zu berechnen, errechnete *Scholz* Mittelwerte aus etwa 6.000 Datensätzen. Tabelle 2 stellt diese Mittelwerte in den drei Spalten KEA_H (kumulierter Energieaufwand für die Herstellung), KEA_U (kumulierter Energieaufwand für die Nutzung) und KEA_E (kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung) dar (Scholz 1997). Die einzelnen Begriffe werden in Kapitel 4.1. beschrieben.

Tabelle 2 Kumulierter Energieaufwand für Herstellung (KEA_H), Unterhalt (KEA_U) und Entsorgung (KEA_E) von landwirtschaftlichen Maschinen (Scholz 1997)

	KEA_H	KEA_U	KEA_E	Einheit
Radtraktoren	65	27	0,5	MJ/kg
Selbstfahrende Erntemaschinen	70	22	0,5	MJ/kg
Gezogene Erntemaschinen	55	22	0,5	MJ/kg
Anhänger	50	25	0,5	MJ/kg
Bodenbearbeitungsgeräte	48	24	0,5	MJ/kg
Ausbringgeräte	55	15	0,5	MJ/kg
Lastkraftwagen	65	62	0,3	MJ/kg

Düngemittel

Die Düngung der Kulturpflanzen ist neben der Unkrautregulierung, dem Pflanzenschutz, der Sortenwahl und den klimatischen Bedingungen ein essenzieller Arbeitsschritt, um diese optimal mit Nährstoffen zu versorgen. Für eine ausgewogene Bereitstellung von Düngemittel, müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden (Sinaj et. al. 2017):

- Nährstoffbedarf der Nutzpflanze,
- Nährstoffverfügbarkeit im Boden,
- Einarbeitung von Ernterückständen und damit Rückführung von Nährstoffen,
- Mengen der zugeführten Nährstoffe,
- Verhalten der Nährstoffe im Boden (Erosion etc.),
- Wirtschaftlichkeit der Nutzpflanze.

Die unterschiedlichen Ansätze und Methoden der Düngung von Nutzpflanzen verfolgen alle folgendes Ziel: Die Kulturen mit ausreichenden Nährstoffmengen zu versorgen, um zu verhindern, dass die Nährstoffverfügbarkeit zum begrenzenden Faktor in der Entwicklung der Nutzpflanze wird (Sinaj et. al. 2017).

Wie bereits im Unterpunkt Pflanzenschutzmittel in diesem Kapitel näher beschrieben, unterscheiden sich ebenso hier, je nach Berechnungsmethode und Aktualität der Publikation der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die Energiemengen, welche für die Produktion von Stickstoff, Phosphor und Kalium benötigt werden. Die Werte von Badger et. al stammen aus dem Jahr 1999, die Werte von Deike et. al. aus dem Jahr 2010, die Werte von Hülsbergen aus dem Jahr 2003 bzw. 2008 und die Werte von Scholz aus dem Jahr 1997. Tabelle 3 gibt einen Einblick in die verschiedenen Energiewerte (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Hülsbergen 2003, 2008; Scholz 1997).

Tabelle 3 Energieaufwand für die Produktion von Mineraldünger (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Hülsbergen 2003, 2008; Scholz 1997)

Mineraldünger	Badger et. al. (1999)	Deike et. al. (2010)	Hülsbergen (2008)	Scholz (1999)	Einheit
Stickstoff (N)	78,1	35,3	35,3	59	MJ/kg
Phosphor (P ₂ O ₅)	17,4	15,8	36,2	17	MJ/kg
Kalium (K ₂ O)	13,7	2,1	11,2	10	MJ/kg

Betrachtet man die Entwicklung der Düngemittelindustrie in den letzten Jahrzehnten, sieht man eine deutliche Effizienzsteigerung in der Produktion. Als Beispiel, stellvertretend für die Düngemittelproduktion, kann man Stickstoffdünger heranziehen: Im Jahr 1990 verursachte die Produktion von einem kg Stickstoff 8,81 kg CO₂. Diese Menge verringerte sich in den Jahren 2006 bzw. 2011 auf 6,26 bzw. 3,67 kg CO₂. Der Grund für die Reduktion der Emissionen ist, dass im Jahr 1990 keine emissionsmindernden Technologien in der Produktion verwendet wurden. Im Jahr 2006 wurden in der Europäischen Union die ersten emissionsmindernden Abgastechnologien verwendet. Heute werden diese Technologien bei allen europäischen Produktionsanlagen verwendet, was zu einer deutlichen Reduktion der Emissionen im Vergleich zu 1990 geführt hat (Brentrup et. al. 2016).

2.5.2 Direkte Energieträger

Direkte Energieträger sind jene hinzugefügten Energien, welche während der Produktion direkt zur Erzeugung genutzt werden. Hierzu zählen unter anderem Strom, Gas, Öl, Kohle und Treibstoffe, welche für den Betrieb von landwirtschaftlichen Maschinen verwendet werden (Werschnitzky et. al. 1987).

Dieseltreibstoff und Strom

Heutzutage kommen bei landwirtschaftlichen Betrieben nahezu ausschließlich dieselbetriebene Maschinen zum Einsatz. In den vergangenen Jahren wurde dem Treibstoffverbrauch der Dieselmotoren eine immer wichtigere Rolle auf Grund des Klimawandels, der Ressourcenschonung und des Kraftstoffpreises zugemessen (Biedermann 2009).

Grundsätzlich ist anzumerken, dass ein großer Teil der vorhandenen Energie im Dieseltreibstoff durch Abwärme ungenutzt verloren geht, obwohl im Äquivalent zum Ottomotor der technisch weiterentwickelte (Direkteinspritzung) Dieselmotor eine verbesserte thermische Effizienz besitzt (Böttinger 2008). Der Heizwert eines Dieseltreibstoffs liegt bei 35,2 MJ/l, berücksichtigt man hierbei ebenfalls die Förderung, sämtliche Aufbereitungen und Lieferwege, beträgt das Energieäquivalent 39,8 MJ/l (Hülsbergen 2003). *Hülsbergen (2008)* überprüfte seine Berechnungen fünf Jahre später nochmals und kam abermals auf denselben Wert.

In unterschiedlichen Literaturquellen werden unterschiedliche Energieäquivalente für den oben genannten Energieträger publiziert. Dies liegt daran, dass je nach Literaturquelle die Vorleistungen (Förderung, Aufbereitung, Lieferwege) unterschiedlich bewertet werden. Tabelle 4 stellt die verschiedenen Energieäquivalente dar. *Hülsbergen (2008)* und *Deike et. al. (2010)* nehmen den niedrigsten Energieäquivalent pro Liter Dieseltreibstoff an, während *Badger et. al. (1999)* den höchsten Wert annehmen.

Tabelle 4 Energieäquivalente für den Energieaufwand in MJ/l bzw. MJ/kWh (Badger et. al. 1999; Darge 2002; Deike et. al. 2010; Hülsbergen 2008; Moitzi 2012)

	Badger et. al. (1999)	Darge (2002)	Deike et. al. (2010)	Hülsbergen (2008)	Moitzi (2012)
Dieseltreibstoff	47,8	45,3	39,8	39,8	44,3
Strom	12				12

Für die Produktionskosten von elektrischem Strom gibt es in der Literatur wenige Quellen. *Moitzi (2012)* berechnete, genauso wie *Badger et. al. (1999)*, als Energieäquivalent den Wert 12 MJ/kWh.

Analysiert man die Effizienz der fossilen Stromproduktion in den letzten Jahrzehnten, sieht man deutlich, dass es sowohl bei Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerken zu einer Steigerung des Brutto-Wirkungsgrads gekommen ist. Die durchschnittliche Steigerung aller drei Kraftwerkstypen von 1990 bis 2020 beträgt 7 %, Gaskraftwerke hatten mit 16,1 % die größte Steigerung und Braunkohlekraftwerke mit 4,6 % die kleinste Steigerung. Da der Umstieg auf fossilsfreie Stromproduktion nur langsam erfolgt, werden Gaskraftwerke, welche

den geringsten Emissionsfaktor im Vergleich zu den anderen Kraftwerken aufweisen, in Zukunft weiterhin errichtet werden (Umweltbundesamt 2022).

Transportaufwand

Der Transportaufwand hat in jedem landwirtschaftlichen Bereich eine bedeutende Rolle. Sowohl bei Weinbäuerinnen und -bauern, Viehbäuerinnen und -bauern, Obst- bzw. Gemüsebäuerinnen und -bauern und Ackerbäuerinnen und -bauern ist der Transport der Erntegüter in die Lager ein wichtiger Schritt.

Um den Kraftstoffverbrauch zu berechnen, werden das Gewicht der transportierten Nutzmasse und der zurückgelegte Weg benötigt. Für diese Berechnung wird der Richtwert des österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung herangezogen. Bei diesem Richtwert werden 0,09 Liter Diesel pro Tonne transportierter Nutzmasse und Kilometer gerechnet (Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021).

Trocknungsaufwand

Der Trocknungsaufwand ist vor allem beim Maisanbau ein essenzieller Faktor. Mindestens 20 % des Maispreises entfallen alleine auf den Trocknungsaufwand, da Mais in der Regel nass geerntet wird und vor der Lagerung auf 14 % Kornfeuchte getrocknet werden muss (Rossrucker 1977).

Für die Trocknung wurden in der Vergangenheit und werden nach wie vor unterschiedliche Energiequellen verwendet. Die wichtigsten Energiequellen sind Heizöl, Gas, Kohle, Holz, Stroh, elektrischer Strom und auch Solarenergie (Strehler und Landtechnik Weihenstephan 1996). In dieser Arbeit werden die Energiekosten für die Trocknung unter der Annahme berechnet, dass Heizöl als Energielieferant verwendet wird.

Alte Trocknungsanlagen, welche auch heute noch in Betrieb sind, zeigen große Einsparungspotentiale im Vergleich zu neuen Anlagen. Da diese Anlagen jedoch individuell auf die Bedürfnisse des Betriebes angepasst sind, gibt es keinen generellen Lösungsansatz. Einer Erhebung von *Marshall et. al. (2020)* zufolge ergibt sich bei Trocknungsanlagen ein Energieeinsparungspotential von bis zu 30 % in normalen bzw. von bis zu 50 % in trockenen Jahren. Dieses erwartete Einsparungspotential lässt sich durch zusätzliche Adaptierung von Sensoren und dem damit verbesserten Management der Anlage weiter steigern (Marshall et. al. 2020).

2.6 Ansätze den fossilen Energieverbrauch zu senken

Weltweit trägt die Landwirtschaft mit etwa 15 % zum Treibhauseffekt über den Ausstoß von klimarelevanten Gasen bei. Die drei relevantesten Gase der Emissionen aus der Landwirtschaft sind Methan, Lachgas und CO₂ infolge indirekter und direkter Energieaufwendungen (Hellebrand und Munack 1995).

CO₂-Emissionen können durch eine Verringerung des Verbrauchs fossiler Energieträger, durch das Gewinnen der Energie aus biologischen Stoffen und durch eine vermehrte Kohlenstoffbindung vermindert werden. Abbildung 2 zeigt theoretische Beispiele von Hellebrand und Munack (1995), wie CO₂-Emissionen gesenkt werden konnten.

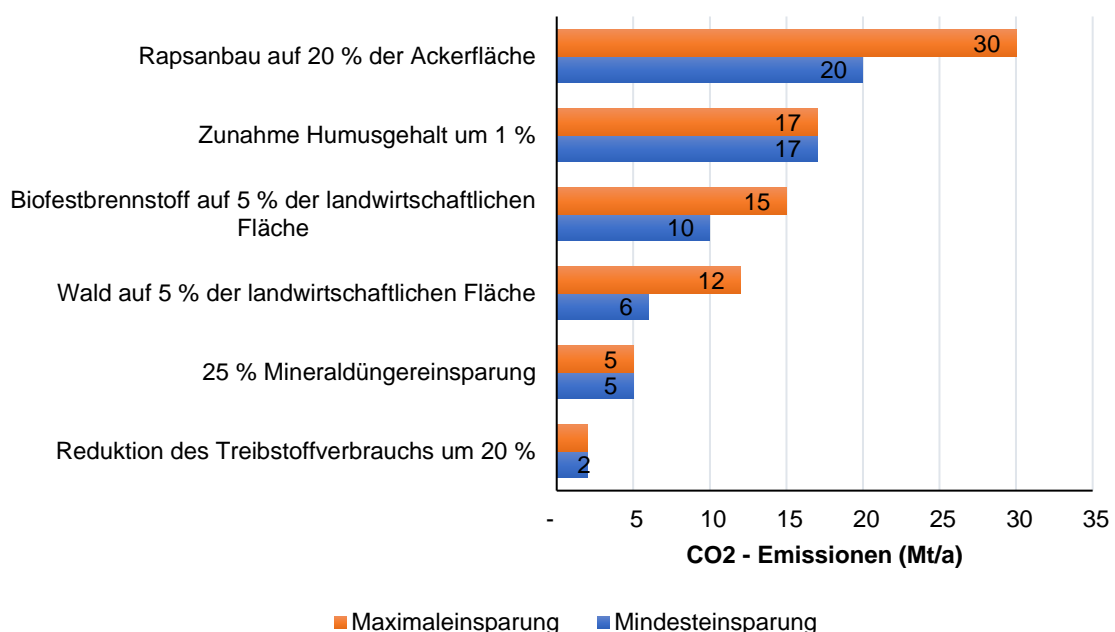


Abbildung 2 Minderungspotentiale von CO₂-Emissionen in Mt/a (Hellebrand und Munack 1995)

Dieseltreibstoff

Der direkte Energieverbrauch stagnierte über die letzten 30 Jahre. Es zeigt sich zwar ein leichtes Wachstum beim Treibstoffverbrauch, parallel jedoch gibt es einen Rückgang in etwa derselben Höhe beim Verbrauch von Heizöl und Gas. Heute beträgt der direkte Verbrauch von Treibstoffen und Brennstoffen etwa 30 % des Gesamtenergieverbrauchs des Sektors Landwirtschaft (Latsch et. al. 2013).

Der Transport und die Bodenbearbeitung haben den größten Anteil am Treibstoffverbrauch, zusätzlich hängt der Dieserverbrauch von folgenden Aspekten ab (Alig et. al. 2015):

- Größe und Gewicht der Maschine,
- Koppelung der Maschine,

- Bodenverhältnisse,
- Reifendruck,
- Motorauslastung und Fahrweise.

Der Treibstoffverbrauch kann durch technische Innovation und Optimierung der Nutzmachines verringert werden. Jedoch ist hier Folgendes anzumerken: Das Minderungspotential durch Treibstoffeinsparungen ist nur minimal, da die Landwirtschaft auf mechanischer Arbeit beruht. Wie man der Abbildung 2 entnehmen kann, senkt die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs die Kohlendioxidemissionen um circa 2 Mt/a (Hellebrand und Munack 1995).

Hellebrand und Munack (1995) gingen in der Vergangenheit von einer positiven CO₂-Bilanz aus, wenn statt fossilen Treibstoffen, Biotreibstoffe verwendet werden würden. *Frondel und Peters (2005)* haben diese Annahme nochmals genauer überprüft und es zeigte sich, dass durch die Produktion von Biodiesel die Treibhausgasemissionen zwar sinken, die Verwendung von Pestiziden und Kunstdünger jedoch im selben Zug bedeutend ansteigen würde. Aus diesem Grund fällt die gesamte Ökobilanz des Biodiesels weniger klar zu Gunsten des Biodiesels aus, als früher angenommen (Frondel und Peters 2005).

Remmele und Eckel (2020) kamen bei neuerlicher Betrachtung dieses Themas jedoch zum Entschluss, dass Biodiesel Treibhausgasminderungspotentiale von über 90 % aufweisen kann. Sie zeigen in ihrer Publikation auf, dass die Nachhaltigkeit von Biodiesel maßgeblich vom eingesetzten Rohstoff abhängt. Wenn beispielsweise Altspeiseöl als Rohstoff verwendet werden würde, würde man laut ihnen auf das oben genannte Potential kommen. Wenn heimische Öle wie Rapsöl verwendet werden würden, entstehen als Koppelprodukt Futtermittel, welche den Import von Soja verringern könnten. Ebenso kann durch Biogastraktoren die Landwirtin bzw. der Landwirt Lebensmittel CO₂-neutral produzieren. Die Hersteller New Holland, Valtra, Same Deutz-Fahr, Steyr und Taktornie Zavody haben in den letzten Jahren Traktoren vorgestellt, welche mit Methan betrieben werden können. Alle Hersteller entwickeln im Zuge ihrer Bemühungen verschiedene Möglichkeiten in Bezug auf das Brennverfahren und die Unterbringung der Tanks (Remmele und Eckel 2020). Der Landmaschinenhersteller New Holland hat nun einen serienreifen Methangas-Traktor vorgestellt. New Holland produziert in Zusammenarbeit mit FPT einen neuen CNG-Motor unter der Vorgabe dieselben Leistungen und dieselbe Motorstatistik des 6,7 Liter NEF-Dieselmotors zu erreichen. Mit diesem Traktor kann die Landwirtin bzw. der Landwirt Lebensmittel CO₂-neutral produzieren (Fischer 2021). Ein Vorteil von Biogastraktoren ist, dass Biogas schnell getankt werden kann und es zu keinen langen Stehzeiten wie bei beispielsweise Batterien kommt.

Eine weitere Möglichkeit den Treibstoffverbrauch nachhaltig und längerfristig zu reduzieren, ist die Umstellung der Bodenbearbeitungsmethoden (Köpke et. al. 2016). Je nach Bodenart verbraucht das Pflügen beispielsweise bis zu 40 Liter, die Direktsaat im Gegenzug lediglich 9 Liter Diesel pro Hektar (Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021). Durch pfluglose Bodenbearbeitung und durch vermehrte Direktsaat sinkt der Verbrauch von Treibstoffen und dadurch können die Emissionen erheblich reduziert werden (Köpke et. al. 2016).

Obwohl Biokraftstoffe, vor allem kurzfristig, eine gewisse Bedeutung in der Landwirtschaft haben können, ist langfristig betrachtet das Potential von elektrisch gebundener Energie weitaus höher. Allerdings sind Batterien heute nicht effizient genug und auch nicht wirtschaftlich. John Deere produzierte bereits einen funktionsfähigen elektrischen Traktor, den sogenannten SESAM-Traktor. Dieser Traktor hat zwar eine Leistung von etwa 400 PS, allerdings war die Kapazität der Batterie nur 130 kWh. Bei Volllastung des Geräts müsste die Batterie nach weniger als einer Stunde wieder aufgeladen werden, dies wäre im praktischen Einsatz nicht möglich. *Pickel (2020)* bezeichnete daher in einer Publikation kabelgebundene Traktoren als interessant. Mit dieser Technik wäre das Problem der zu kleinen Batterien gelöst und die Energieversorgung sichergestellt (Pickel 2020).

Regenerative Energien

Unter dem Begriff regenerative Energie versteht man Biomasseverbrennung, Biogaserzeugung und erneuerbare Stromerzeugung. Potentielle regenerative Energieträger in Mitteleuropa sind folgende (Marutzky 2004):

- Holz, Holzreststoffe und Holzabfälle,
- Biogas,
- Pflanzliche Öle und Fette,
- Landwirtschaftliche Abfälle,
- Energiepflanzen,
- sonstige biogene Abfälle.

Mindestens 25 % des Gesamtenergieverbrauchs in der Landwirtschaft dient der Bereitstellung von Wärme (z.B.: Trocknung). Aus diesem Grund gibt es hier die Möglichkeit der Emissionseinsparung bei Verwendung von regenerativen Energien. Die Landwirtschaft hat die Möglichkeit, regenerative Energie wie Biomasse und Biogas selbstständig zu produzieren und damit den eigenen Verbrauch nachhaltig zu decken (Hellebrand und Munack 1995).

Beispiele für heute etablierte Technologien sind die Biogasanlagen und Photovoltaikanlagen. 2016 gab es in Deutschland etwa 8.700 Biogasanlagen, ca. 8.200 davon sind landwirtschaftliche Biogasanlagen. Die Kernkompetenz dieser Anlagen bildet die Stromproduktion, jedoch wird, nach Abzug des Eigenwärmebedarfs der Biogasanlage, die frei verfügbare Wärmemenge zu rund 90 % verwendet. Diese Wärmemenge wird für die Trocknungsprozesse im Betrieb und für die Beheizung von Sozialgebäuden, öffentlichen Einrichtungen, Wohnhäusern inkl. Warmwasseraufbereitung usw. genutzt (Daniel-Gromke et. al. 2017).

Photovoltaikanlagen bieten sich bei landwirtschaftlichen Betrieben an, da diese über genügend freie und große Dachflächen verfügen (Alig et. al. 2015; Lödl et. al. 2010). Die Treibhausgasreduktion der Maßnahme beruht auf dem Ausgleich der Stromzusammensetzung. Vereinfacht beschrieben wird der CO₂-Ausstoß verringert, der für die Produktion derselben Strommenge emittiert wird (ecoinvent Centre 2010).

Um den Sonnenstrom optimal zu nutzen, muss der zeitliche Ablauf des Stromverbrauchs an die Stromerzeugungskurve der Photovoltaikanlage angepasst werden. Aus diesem Grund eignen sich nicht alle landwirtschaftlichen Sparten gleichermaßen für die Eigenstromversorgung. Ideale Voraussetzungen für solche Anlagen haben Schweinemastbetriebe, Geflügelbetriebe und Direktvermarkter, da bei diesen Sparten der Stromverbrauch der Anlagen zu jener Zeit am höchsten ist, wo die Photovoltaikanlage den meisten Strom erzeugt: In den Sommermonaten zur Mittagszeit (Loibnegger 2021).

Ausgehend von einer Lebensdauer von 25 Jahren für Photovoltaikanlagen und einer energetischen Amortisationsdauer von 1,28 Jahren, entspricht der Ökostromanteil 94,88 %, 5,12 % wären unvermeidbar fossil (Quaschnig 2022).

Steigerung des Humusgehalt

Unter Humus versteht man die Gesamtheit der organischen Stoffe im Boden, die beim Abbau und Umbau pflanzlicher und tierischer Überreste entstehen (Sauermost und Freudig 2021). Humus besteht zu 58 % aus Kohlenstoff, welcher aus der Atmosphäre gespeichert wird. Die Kohlenstoffspeicherung im Humus in landwirtschaftlich genutzter Fläche ist eine Möglichkeit zur Verringerung des CO₂-Anstiegs. Der Humusgehalt in den landwirtschaftlichen Böden kann durch pflanzenbauliche Maßnahmen wie Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung gezielt erhöht werden. Dadurch kommt es zur Kohlenstoffakkumulation (Hülsbergen und Küstermann 2007). *Hellebrand und Munack (1995)* haben berechnet, dass durch eine Erhöhung des Humusgehaltes um 1 %, in einem Zeitraum über 50 Jahre, eine CO₂-Senke von 17 Mt/a entsteht.

Mineraldüngereinsparung

Der Großteil der indirekten landwirtschaftlichen Emissionen lässt sich auf die Mineraldüngerausbringung zurückführen. Beim Haber-Bosch-Verfahren beispielsweise beruht die Produktion der Mineraldünger auf einem Verfahren zur Synthese von Ammoniak aus den Elementen Stickstoff und Wasserstoff. Die Produktion benötigt viel Energie und ist mit einem großen CO₂-Ausstoß verbunden (Auernhammer et. al. 1991;ecoinvent Centre 2010). Zu diesen Emissionen werden zusätzlich bei und nach der Düngerausbringung Teile des Mineraldüngers, z.B.: Stickstoffdünger, als Lachgas in die Atmosphäre emittiert (Alig et. al. 2015; Auernhammer et. al. 1991).

Die genannten Emissionen lassen sich durch folgende Lösungswege zur Mineraldüngereinsparung verhindern bzw. reduzieren (Hellebrand und Munack 1995):

- Effizientere Verwendung des Düngers durch gezieltere boden- und pflanzengerechte Ausbringung,
- Höherer Leguminosenanteil in der Fruchtfolge,
- Möglichst vollständige und verlustarme Nutzung des Wirtschaftsdüngers und der anfallenden biologischen Reststoffe.

Weiters wird durch die genannten Maßnahmen der finanzielle Mehraufwand für den landwirtschaftlichen Betrieb gesenkt, da durch Überdüngung und Mineraldüngerverlust ein finanzieller Mehraufwand von CHF 100,- pro Betrieb und pro Jahr entstehen (Agrocleantech 2017).

Grüner Stickstoffdünger

Ein Joint Venture aus Norwegen namens „Hegra“ hat sich zum Ziel gesetzt, grünen Ammoniak innerhalb der kommenden fünf bis sieben Jahre zu produzieren. Die Grundlage dieser Produktion bildet grüner Wasserstoff, welcher vom Unternehmen „Aker Clean Hydrogen“ nachhaltig produziert wird. Der grüne Strom für die nachhaltige Wasserstoffproduktion kommt zu einem Teil vom weltweit agierenden Unternehmen „Statkraft“ und zum anderen Teil vom Unternehmen „Aker Clean Hydrogen“ selber (Aker Clean Hydrogen 2022; Harmsen 2021). Im nächsten Schritt soll mit Hilfe des grünen Wasserstoffs die Ammoniakfabrik von „Yara“ elektrifiziert werden. Ziel dieses Projektes ist es, grünen Ammoniak zu produzieren und damit den fossilen Ammoniak in der Düngemittelproduktion zu ersetzen. Dieses neue Projekt soll den Stickstoffdünger nachhaltig produzieren und damit die Landwirtschaft nachhaltiger machen (Harmsen 2021).

Zwischenfruchtanbau

Der Zwischenfruchtanbau ist mittlerweile eine etablierte Ackerbaumaßnahme der Landwirtinnen und Landwirte, da mit diesem einige positive Effekte einhergehen (Alig et. al. 2015):

- Verbesserung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch mehr organische Substanz,
- Unterdrückung von Un- und Beikräutern,
- Unterdrückung von durch die Fruchtfolge bedingten Schädlingen und Krankheiten,
- Schutz vor Verlust des Oberbodens (Bodenerosion),
- Fixierung von Luftstickstoff (vorausgesetzt Leguminosen sind im Saatgut enthalten),
- Vermeidung der Stickstoffauswaschung.

Die N₂O-Emissionen unterscheiden sich bei verschiedenen Bewirtschaftungsvarianten signifikant. Es zeigt sich, dass Bewirtschaftungsvarianten mit einem höheren Anteil an Zwischenfrüchten niedrigere Emissionen aufweisen. Dies trifft vor allem auf konventionelle Betriebe zu, da biologische Betriebe ohnehin einen hohen Anteil an Zwischenfrüchten in ihrer Fruchtfolge anbauen. Durch gezielteren Zwischenfruchtanbau können Emissionen nachhaltig verringert werden (Foldal et. al. 2019).

Ausbringung von Pflanzenkohle

Pflanzenkohle ist ein unter Ausschluss von Sauerstoff aus pflanzlichen Abfällen hergestelltes, kohlenstoffreiches Produkt (Rödger et. al. 2014). Die Düngung von Pflanzenkohle ist eine sehr neue Methode und wird erst seit einigen Jahren verfolgt. Durch das hohe Klimaschutztechnische Potential ist die Methode der Pflanzenkohleausbringung in den letzten Jahren verstärkt in den Blickpunkt der Wissenschaft gerückt (Lehmann und Joseph 2009). Das Ausbringen von Pflanzenkohle kann auf ackerbaulichen Nutzflächen eine positive Wirkung auf landwirtschaftliche Erträge haben (Woolf et. al. 2010).

Eine Besonderheit von Pflanzenkohle ist die sehr hohe Beständigkeit gegen biologischen und chemischen Abbau in der Erde. Durch diese Besonderheit können große Mengen an organischen Kohlenstoff in Form von Pflanzen gebunden und durch die Düngung des genannten Produktes im Boden über einen langen Zeitraum gespeichert werden (Woolf et. al. 2010).

Eine weitere klimarelevante Eigenschaft von Pflanzenkohle ist ihr Potential N₂O-Emissionen in landwirtschaftlich kultivierten Böden zu verringern (Felber et. al. 2014). Durch

diese beiden Eigenschaften hat Pflanzkohle das Potential eine sehr effektive Klimaschutzmaßnahme in der Zukunft zu werden (Lehmann und Joseph 2009).

Einsparungspotential durch Lenksysteme

Lenksysteme werden als ein sehr wichtiger technologischer Durchbruch im Sinne der digitalen Landwirtschaft angesehen. Zu Beginn der 2000er-Jahre wurden Lenksysteme bereits von Herstellern angeboten (Schmitz 2017). Durch die Verwendung von GPS-gesteuerten Lenksystemen bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen bieten sich einige Vorteile und teilweise erhebliche Einsparungspotentiale. Neben der physischen und psychischen Entlastung des Fahrers, der Erhöhung der Leistungsbereitschaft des Fahrers, der Ausweitung der Feldarbeitszeit in der Nacht bzw. Dämmerung und der allgemeinen Verbesserung der Arbeitsqualität, bieten Lenksysteme auch klimatechnisch einige Einsparungspotentiale (Moitzi et. al. 2007).

Durch Lenksysteme werden Überlappungen reduziert und damit die Flächenleistung gesteigert. Durch die geringere Überlappung kommt es auch zu einer Reduktion der Betriebsmittel. Das führt wiederum dazu, dass der Kraftstoffverbrauch und der Betriebsmittelverbrauch verringert werden können (Moitzi et. al. 2007). *Kral et. al. (2017)* zeigten durch ihre Berechnungen, dass es durch RTK-Lenksysteme zu einer Verbesserung in der effektiven Arbeitsbreite um ca. 5 % im Vergleich zur manuellen Lenkung kommt. Damit belegen die Messergebnisse die in der Literatur angeführte Verbesserung der effektiven Arbeitsbreite (Kral et. al. 2017).

Kelc et. al. (2019) bestätigten zwei Jahre später nochmals die Publikationen von *Moitzi et. al (2007)* und *Kral et. al. (2017)* mit folgendem Ergebnis: Bei einem drei Meter breitem Arbeitsgerät wurde in einem Versuch durch RTK-Technik 15,7 % Zeit und 8,66 % Kraftstoff gegenüber der manuellen Lenkung eingespart. Im gesamten Feldversuch benötigte der manuelle Fahrer 22 Runden für die Fertigstellung des Ackers. Im Gegensatz dazu benötigte der Fahrer mit RTK-Technik nur 20 Runden für die Fertigstellung (Kelc et. al. 2019).

3 Zielsetzung

Die Masterarbeit zeigt alle Energieinputs und -outputs innerhalb eines österreichischen Ackerbaubetriebs und eines Modellbetriebs auf. Es wird analysiert, ob es möglich ist, einen landwirtschaftlichen Ackerbaubetrieb ohne fossile Energieträger zu betreiben.

Um diese Thematik zu bearbeiten ergeben sich drei Fragstellungen bzw. sind drei Schritte notwendig:

1. Welche direkten und indirekten Energieträger kommen in der Landwirtschaft, speziell im Ackerbau, zum Einsatz? Welche Energieoutputs liefert der landwirtschaftliche Ackerbau?

Hierbei werden alle Energieinputs vom Beginn der Produktion bis hin zur Trocknung und Lagerung aufgezeigt und zusammengefasst. Ebenso werden die Energieoutputs beschrieben.

2. Wie groß ist der Gesamtenergieverbrauch von landwirtschaftlichen Ackerbaubetrieben in Österreich?
 - Wie groß ist der Gesamtenergieverbrauch eines durchschnittlichen Ackerbaubetriebs in Österreich?
 - Wie groß ist der Gesamtenergieverbrauch eines ausgewählten Ackerbaubetriebs aus dem Südburgenland?

In diesem Schritt werden die aufgezeigten Energieinputs und -outputs eines großen, konventionell wirtschaftenden, Ackerbaubetriebs (318 ha) aus dem Südburgenland erfasst und mit einem realitätsnahen durchschnittlichen österreichischen Ackerbaubetrieb (50 ha) verglichen.

3. Welche Ansätze können in der Praxis als Alternative zur Einsparung fossiler Energieträger in der Landwirtschaft verwendet werden und wie groß ist ihr Potential?

In diesem Punkt werden mögliche Ansätze dargestellt, welche in der Praxis als Alternative zur Einsparung fossiler Energieträger in der Landwirtschaft verwendet werden können. Hier wird ebenso gezeigt, wie groß das Potential dieses Ansatzes ist.

4 Material und Methoden

4.1 Methode

Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Im Zuge der Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung wird es in Zukunft vermehrt üblich sein, dass man Dienstleistungen und Produkte unter Aspekten wie Aufwand und Ressourcenbelastung analysiert und quantifiziert. Zur Ressourcenbelastung zählen in diesem Fall sowohl die Emissionen als auch der Energieaufwand. Das Ziel hierbei ist es, möglichst umfangreiche Informationen für eine unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit optimierten Produktion wie auch Verbrauch und Beseitigung der Produkte bereitzustellen (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012).

Definition und Beschreibung des KEA

Der KEA gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, welcher im Zusammenhang mit der Herstellung, der Nutzung und der Beseitigung eines ökonomischen Guts entsteht bzw. diesem zugewiesen werden kann. Der Energieaufwand stellt die Summe der kumulierten Energieaufwendungen für die Herstellung (KEA_H), die Nutzung (KEA_N) und die Entsorgung (KEA_E) des ökonomischen Guts dar (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012; VDI-Gesellschaft Energietechnik 1993).

Der KEA beschreibt ebenfalls die Summe aus dem kumulierten Energieverbrauch (KEV) und dem kumulierten nicht energetischen Aufwand (KNA). Der kumulierte nicht energetische Aufwand ist das Ergebnis des primärenergetisch bewerteten Energieinhalts der nicht energetisch eingesetzten Energieträger (NEV) und des stoffgebundenen Energieinhalts von Einsatzstoffen (SEI). Der KEV umfasst alle primärenergetisch gehandelten, über Bereitstellungsnutzungsgrade bewerteten, Endenergien (EE) für Wärme, Licht, Kraft und für andere Nutzelektrizitätserzeugung (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012).

Grundsätzlich beziehen sich die Daten des KEA sowohl auf Rohstoffe, Halbwerkzeuge und fertige Produkte als auch Dienstleistungen. Die zur Berechnung benötigten Daten sind je nach Aufwand als einzelne Energieträger (Brennstoffe, Strom, ...), als nichtenergetischer Einsatz von Energieträgern und als stoffgebundener Energieeinsatz (oxidationsfähige Stoffe, z.B.: Biomasse, Aluminium) zu unterscheiden (VDI-Gesellschaft Energietechnik 1993).

Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung (KEA_H)

Der Kumulierte Energieaufwand für die Herstellung summiert sich aus den primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen, welche sich bei nachstehenden Arbeitsschritten ergeben (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012):

- Herstellung des Produktes,
- Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung von Fertigungs-, Betriebs- und Hilfsstoffen,
- Transport des Gegenstands bzw. der Dienstleistung.

Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung (KEA_N)

Unter dem Kumulierten Energieaufwand für die Nutzung wird die Summe folgender primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen verstanden, welche bei diesen Arbeitsschritten benötigt werden (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012):

- Betrieb und Nutzung eines Produktes bzw. einer Dienstleistung,
- Herstellung und Entsorgung von Ersatzteilen, von Hilfs- und Betriebsstoffen sowie von Betriebsmitteln.

Beim KEA_N muss die Betriebs- und Nutzungszeit immer angegeben werden und der Energieaufwand, welcher beim Transport verursacht wird, ist miteinzubeziehen (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012).

Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung (KEA_E)

Der Kumulierte Energieaufwand für die Entsorgung summiert sich aus den primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen, welche sich bei nachfolgenden Arbeitsschritten ergeben (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012):

- Entsorgung von Teilen bzw. vom ganzen Gegenstand,
- Herstellung und Entsorgung von Betriebs- und Hilfsstoffen, welche für die Entsorgung erforderlich sind.

Wie auch bei dem KEA_H und KEA_N ist bei dem KEA_E ebenfalls der Energieaufwand für den Transport einzuschließen (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012).

4.2 Material

4.2.1 Pflanzenschutzmittel

In Kapitel 2.5.1 wurden anhand verschiedener Literaturquellen Energiemengen für die Produktion von Pflanzenschutzmitteln definiert. Für die weiteren Berechnungen in dieser Masterarbeit werden die Energiewerte von *Moitzi (2012)* herangezogen, da es sich um die aktuellsten handelt. Tabelle 5 zeigt die verwendeten Werte für die Fungizide, Insektizide und Herbizide.

Tabelle 5 Energieaufwand für die Herstellung von PSM

Pflanzenschutzmittel	Energiewerte von <i>Moitzi (2012)</i>	Einheit
Fungizide	177	MJ/kg
Insektizide	296	MJ/kg
Herbizide	259	MJ/kg

Die Energiewerte werden in den Berechnungen der Masterarbeit mit den ausgebrachten Mengen der beiden Betriebe multipliziert.

4.2.2 Saatgut

Tabelle 6 zeigt den Energiewert für die Produktion und die Aufbereitung von Saatgütern. Diese Energiewerte werden in weiterer Folge für die Berechnungen in dieser Masterarbeit verwendet.

Tabelle 6 Energieaufwand für die Produktion und Aufbereitung von Saatgut

Saatgut	Energiewerte in MJ/kg	Einheit	Literaturquelle
Getreide	13	MJ/kg	(Badger et. al. 1999)
Mais	100	MJ/kg	(Badger et. al. 1999)
Sojabohne	34	MJ/kg	(Badger et. al. 1999)
Zuckerrübe	54	MJ/kg	(Badger et. al. 1999)
Sonnenblume	20	MJ/kg	(Badger et. al. 1999)
Klee	135	MJ/kg	(Badger et. al. 1999)
Ölkürbis	20	MJ/kg	(Thünauer 2013)

4.2.3 Düngemittel

Die Energiewerte der Düngemittel der verschiedenen Literaturquellen wurden in Kapitel 2.5.1 dargestellt. Für die Berechnungen in der Masterarbeit werden die Energiewerte von *Deike et. al. (2010)* verwendet, da diese Daten die aktuellsten sind. Die Energieaufwände für die Produktion der drei wichtigsten Mineraldüngemittel sind in der Tabelle 7 auf der folgenden Seite aufgelistet.

Tabelle 7 Energieaufwand für die Produktion von Mineraldünger

Mineraldünger	Energiewerte von Deike et. al. (2010)	Einheit
Stickstoff (N)	35,3	MJ/kg
Phosphor (P ₂ O ₅)	15,8	MJ/kg
Kalium (K ₂ O)	2,1	MJ/kg

4.2.4 Dieseltreibstoff

In Kapitel 2.5.2 wurden die unterschiedlichen Energieäquivalente der verschiedenen Literaturquellen aufgelistet. Für die Berechnungen in der Arbeit wird das Energieäquivalent **44,3 MJ/l** für Dieseltreibstoff von *Moitzi (2012)* und **12 MJ/kWh** für Strom von *Moitzi (2012)* bzw. *Badger et. al. (1999)* verwendet.

Die Energieäquivalente werden in weiterer Folge mit dem Dieserverbrauch der unterschiedlichen Maschinen multipliziert. Die Daten über den Dieserverbrauch stammen vom Feldarbeitsrechner des *Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2020)* und vom *österreichischen Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (2021)*.

KTBL Feldarbeitsrechner

Der Feldarbeitsrechner ist eine frei zugängliche Anwendung vom *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2020)* und ist unter der Internetseite <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html#0> aufrufbar. In der Anwendung können Schläge mit verschiedenen Größen, die Feld-Hof Entfernung, und die Widerstände je nach Bodenart variabel gewählt werden. In der Anwendung sind über 5.000 verschiedene Arbeitsverfahren hinterlegt, wobei ein Arbeitsverfahren zudem mehrere Teilarbeiten wie beladen, transportieren, entladen, trocknen und lagern umfassen kann. Für die Arbeitsverfahren werden die Maschinenkosten, der Dieselbedarf und der Arbeitszeitbedarf ermittelt, welche die Hauptzeit, Wendezeit, Versorgungszeit, unvermeidbare Verlustzeit, Wartezeit, Wegezeit und Rüstzeit enthalten (*Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. 2020*).

Zu Beginn wird ein Arbeitsvorgang ausgewählt und danach folgt die Bestimmung der Schlaggröße, des Bodenbearbeitungswiderstands und der Entfernung vom Hof zum Feld. Anschließend wird das Ergebnis berechnet (*Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. 2020*).

4.2.5 Transportaufwand

Wie bereits in Kapitel 2.5.2 erwähnt, wird für die Ermittlung des Transportaufwands der Richtwert des *österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung (2021)* verwendet. Der errechnete Wert wird in weiterer Folge mit dem Dieselenergieäquivalent von *Moitzi (2012)* multipliziert.

4.2.6 Trocknungsaufwand

In dieser Masterarbeit wird der Energieaufwand für die Trocknung unter der Annahme berechnet, dass Heizöl als Energielieferant verwendet wird. *Badger et. al. (1999)* nehmen im „CIGR Handbook of Agricultural Engineering“ für Heizöl einen Energiewert von 47,8 MJ/l an; dieser Wert wird auch für die weiteren Berechnungen in dieser Arbeit herangezogen.

Tabelle 8 zeigt den Heizölverbrauch für die Trocknung einer Tonne Nassmais. Der von *Rossrucker (1977)* angenommene Heizölverbrauch pro Tonne Nassmais wird mit dem verwendeten Energiewert von *Badger et. al (1999)* multipliziert. Der Trocknungsaufwand wird in der rechten Spalte der Tabelle, in MJ/t Nassmais, dargestellt.

Tabelle 8 Trocknungsaufwand von Nassmais (Badger et. al. 1999; Rossrucker 1977)

Feuchtigkeit (%)	Ölverbrauch (l/t Nassmais)	Trocknungsaufwand (MJ/t)
30	22,1	1.056
29	20,8	994
28	19,4	927
27	18,0	860
26	16,6	794
25	15,2	727
24	13,8	660
23	12,5	598
22	11,1	531
21	9,7	464
20	8,3	397

4.2.7 Maschinenaufwand

Um den KEA der verschiedenen Maschinen für diese Masterarbeit zu berechnen, werden die errechneten Mittelwerte von *Scholz (1997)* verwendet. Diese Mittelwerte beruhen auf etwa 6.000 Datensätzen. Tabelle 2 in Kapitel 2.5.1 gibt einen Überblick über mehrere landwirtschaftlichen Maschinen, Tabelle 9 auf der nächsten Seite listet nur mehr die für die Masterarbeit relevanten landwirtschaftlichen Maschinen auf (*Scholz 1997*).

Tabelle 9 Energieaufwand für Herstellung (KEA_H), Unterhalt (KEA_U) und Entsorgung (KEA_E) von landwirtschaftlichen Maschinen (Scholz 1997)

Maschine	KEA _H	KEA _U	KEA _E	Einheit
Radtraktoren	65	27	0,5	MJ/kg
Selbstfahrende Erntemaschinen	70	22	0,5	MJ/kg
Anhänger	50	25	0,5	MJ/kg
Bodenbearbeitungsgeräte	48	24	0,5	MJ/kg
Ausbringgeräte	55	15	0,5	MJ/kg

Die einzelnen Werte werden summiert und mit dem Gewicht der jeweiligen Maschine multipliziert.

4.2.8 Ertrag

Für die Berechnungen der Energieoutputs in dieser Masterarbeit werden die von *Badger et. al. (1999)* und *Hülsbergen (2008)* ermittelten Energieäquivalente verwendet. Tabelle 10 listet die verwendeten Energiewerte.

Tabelle 10 Energieoutput der Kulturen

Kultur	Energieäquivalent	Einheit	Literaturquelle
Getreide	18,6	MJ/kg	Badger et. al. (1999)
Mais	18,5	MJ/kg	Hülsbergen (2008)
Sojabohne	36,8	MJ/kg	Badger et. al. (1999)
Zuckerrübe	1,83	MJ/kg	Badger et. al. (1999)
Sonnenblume	36,8	MJ/kg	Badger et. al. (1999)
Raps	37,6	MJ/kg	Badger et. al. (1999)
Ölkübis	28,3	MJ/kg	Badger et. al. (1999)

4.2.9 Systembeschreibung

Nachdem im ersten Schritt festgelegt wurde, welche Energieträger für die Berechnungen dieser Masterarbeit relevant sind, wurden die Daten über die verwendeten Mengen vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar erhoben.

Zudem wurde ein fiktiver Modellbetrieb auf Grundlage von verschiedenen Literaturquellen erstellt. Die Mengen der angenommenen Energieinputs und -outputs stammen zum Großteil von Praxisversuchen und Literaturrecherchen, einzelne Werte wurde jedoch auf Grund von fehlenden Quellen vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar übernommen.

4.2.9.1 Modellbetrieb

Um einen durchschnittlichen österreichischen Ackerbaubetrieb zu betrachten, wird ein Modellbetrieb geschaffen. Die Betriebsgröße wird mit 50 ha angenommen. Für diesen Modellbetrieb wird die Fruchtfolge Winterweizen – Körnermais – Sojabohne – Winterraps – Zuckerrübe – Sonnenblume festgelegt.

Düngemittel

Um die Menge des benötigten Düngers zu erhalten, wird für jede Kultur die höchstzulässige Reindüngermenge von Stickstoff und Phosphor in kg/ha angenommen. Die Informationen über die genaue Menge stammen vom AMA-Düngerrechner. Dieser Düngerrechner wird von der *Landwirtschaftskammer Oberösterreich (2015)* gratis angeboten. Die Düngermengen für den Kalium-Dünger stammen vom *Industrieverband Agrar e. V. (2019)*. Die Mengen werden anschließend mit den Energieäquivalenten von Kapitel 4.2.3 multipliziert, um Informationen über den Energiebedarf pro Hektar zu erhalten.

Pflanzenschutzmittelverbrauch

Um Informationen über den Pflanzenschutzmittelverbrauch zu erhalten werden für jede Kultur in der Fruchtfolge die pflanzenbaulichen Versuche der *Landwirtschaftskammer Österreich (2021)* der letzten sechs Jahre analysiert und der Durchschnitt der ausgebrachten Herbizid-, Fungizid- und Insektizidmengen in kg/ha errechnet. Diese Werte werden ebenso mit den jeweiligen Energieäquivalenten aus Kapitel 4.2.1 multipliziert und man erhält Informationen über den Energieaufwand pro Hektar. Der Vorteil dieser Versuche ist folgender: Die pflanzenbaulichen Versuche sind genau begleitet und jede Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln wird exakt dokumentiert. Dadurch erhält man praxisnahe Informationen über die verwendeten Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft. Beim Pflanzenschutzmittelverbrauch der Zuckerrübe werden die errechneten Werte vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar von 2017 herangezogen, da es keine pflanzenbaulichen Versuche der Landwirtschaftskammer Österreich zu dieser Kultur gibt.

Saatgutmenge

Alle Informationen über die Saatgutmenge in kg/ha stammen von den Feldbauratgebern der *Landwirtschaftskammer Niederösterreich und Landwirtschaftskammer Oberösterreich (2020, 2021)*. Lediglich die Information für die Saatgutmenge bei Körnermais stammt vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar. Die verwendeten Mengen werden mit den Energieäquivalenten von Kapitel 4.2.2 multipliziert.

Dieserverbrauch

Für den Dieserverbrauch durch den Arbeitsaufwand werden zwei mögliche Szenarien aufgestellt, um zu untersuchen, ob sich der Energieaufwand stark oder vernachlässigbar unterscheidet: Die kleinstmögliche Mechanisierung und die größtmögliche Mechanisierung. Die Informationen über den Dieserverbrauch der beiden Mechanisierungen stammen vom *österreichischen Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (2021)* und vom Feldarbeitsrechner vom *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.*

(2020). Der Dieserverbrauch wird erhoben und mit dem Energieäquivalent von Kapitel 4.2.4 multipliziert. Danach wird dieser zusammengefasst, auf einen Hektar heruntergebrochen und verglichen. Da sich die Verbräuche nur leicht unterscheiden, wird aufgrund der größeren Praxisnähe für die weiteren Berechnungen der Dieserverbrauch der kleinen Mechanisierung angewandt.

Maschinenaufwand

Die betriebliche Maschinen- und Geräteausstattung beruht auf den Arbeitsgängen beim Arbeitsaufwand. Teilweise wird das Gewicht der verwendeten Maschinen und Geräte von den Erhebungen des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar verwendet, da dieser Betrieb auch Maschinen und Geräte in Verwendung hat, die durchschnittliche Betriebe ebenfalls nutzen. Es werden jedoch auch kleinere Arbeitsgeräte, welche im Betrieb Resetar nicht vorkommen, von Pöttinger, Amazone und Einböck in die Berechnungen aufgenommen. Das Gewicht dieser Geräte stammt direkt von den Herstellern bzw. von der Erhebung des Betriebes Resetar (Amazone Werke H.Dreyer GmbH & Co. KG 2021; Einböck GmbH 2021b, 2021a; Pöttinger Landtechnik GmbH 2020c, 2020a, 2020b). Das Gewicht der einzelnen Maschinen und Geräte wird anschließend mit dem kumulierten Energieaufwand von *Scholz (1997)* multipliziert. Danach werden die einzelnen Lösungen zusammengefasst und durch 50 dividiert, da der Modelbetrieb 50 Hektar bewirtschaftet.

Trocknungs- und Transportaufwand

Um den Modellbetrieb besser mit dem landwirtschaftlichen Betrieb Resetar vergleichen zu können, werden dieselben Transportwege angenommen. Da dieser Parameter bei Zuckerrüben, je nach Entfernung, sehr stark ins Gewicht fällt, werden für diese Frucht drei Entfernungen angenommen, um dies zu verdeutlichen. Die Transportwege werden folgendermaßen gewählt:

- a) Transportweg 5,54 km,
- b) Transportweg 50 km,
- c) Transportweg 150 km.

Um den Energieaufwand für den Transport zu errechnen, wird die Methode aus Kapitel 4.2.5 angewandt.

Es wird in den Berechnungen angenommen, dass nur Körnermais nass geerntet wird. Um den Energieaufwand für die Trocknung in MJ/ha zu berechnen, werden die Daten von *Rossrucker (1977)* herangezogen. Für die Berechnung des Trocknungsaufwand ist die Erntemenge und die geerntete Feuchtigkeit entscheidend. Um die Ertragsmenge zu erhalten, wurde der Durchschnitt der Maiserträge von 2015 bis 2020 von den

Herbsterhebungen der AgrarMarkt Austria (2015a, 2016a, 2017a, 2018a, 2019a, 2020a) errechnet. Als Feuchtigkeit wird der Wert 24 % angenommen. Dieser entspricht der Durchschnittsfeuchtigkeit beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar im Zeitraum von 2015 bis 2020.

Ertrag

Die Ertragsmengen der einzelnen Kulturen der Fruchtfolge stammen aus den Daten der Herbst- und Sommererhebungen der AMA. Es werden für die Berechnungen die Erntemengen von 2015 bis 2020 für jede einzelne Kultur zusammengefasst und der Durchschnitt berechnet (AgrarMarkt Austria 2015a, 2015b, 2020b, 2020a, 2016b, 2016a, 2017b, 2017a, 2018b, 2018a, 2019b, 2019a). Bei der Ertragsmenge von Zuckerrüben wird der durchschnittliche Wert vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar von 2017 verwendet, da hierfür keine Daten der AMA vorliegen. Die durchschnittliche Ertragsmenge wird anschließend mit dem jeweiligen Energieäquivalent aus dem Kapitel 4.2.8 multipliziert.

Nachdem alle Faktoren berechnet wurden, sind die Energieaufwände zusammengefasst und mit dem Energieäquivalent der Erträge verglichen worden. Dadurch kann für jede einzelne Kultur beim Modellbetrieb die Energieerzeugung durch die Ernte mit dem Energieverbrauch für die Produktion verglichen werden.

4.2.9.2 Landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

Im Zuge dieser Masterarbeit wird neben einem durchschnittlichen österreichischen Modellbetrieb der landwirtschaftliche Betrieb Resetar untersucht. Für den Betrieb wurden alle Daten der genannten Energieträger, von 2015 bis 2020, erhoben. Der Betrieb bewirtschaftet 318 ha, die Schlaggröße beginnt bei 0,2 ha und reicht bis 12 ha. Die Klimadaten des Betriebs befinden sich im Anhang.

Standort und Kennzahlen des Betriebs

Der landwirtschaftliche Betrieb Resetar liegt im Südburgenland im Bezirk Oberwart in der Gemeinde Schachendorf. In der Abbildung 3 ist der Standort des Betriebes mit einem roten Punkt markiert.

Die geographischen Koordinaten des landwirtschaftlichen Betriebes Resetar sind 47,264722° N 16,434167° E (Google Ireland Limited 2021).



Abbildung 3 Standort des Betriebs Resetar (Google Ireland Limited 2021)

Fruchtfolge und grundsätzliche Bewirtschaftung des Betriebes

Der Ackerbaubetrieb wird konventionell bewirtschaftet. Im landwirtschaftlichen Betrieb werden Winterweizen, Sojabohnen, Körnermais, Zuckerrüben, Sonnenblumen und Ölkürbis angebaut.

Die Hauptfruchtarten des Betriebes sind Winterweizen, Sojabohnen und Körnermais. Ölkürbis, Sonnenblumen und Zuckerrüben werden ebenfalls angebaut, jedoch in kleineren Mengen und unregelmäßig.

Düngemittel, Pflanzenschutzmittelverbrauch, Saatgutmenge und Ertrag

Die Menge der ausgebrachten Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Saatgutmenge und des geernteten Ertrags auf den einzelnen Feldstücken des landwirtschaftlichen Betriebs wird getrennt voneinander in kg/ha zusammengefasst und anschließend durch die gesamtangebaute Hektarzahl dividiert. Die Düngemittel werden hierbei in Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdünger eingeteilt, die Pflanzenschutzmittel in Fungizide, Insektizide und Herbizide. Dadurch erhält man für alle Bereiche die durchschnittlich ausgebrachten bzw. geernteten Mengen pro Hektar. Dieses Ergebnis wird anschließend mit den genannten Energieäquivalenten multipliziert. Diese Berechnung wurde für jede angebaute Kultur jedes Jahres durchgeführt, dadurch bekam man das Ergebnis in MJ/ha für jede angebaute Kultur im Betrieb.

Arbeitsaufwand

Für die Berechnung des Arbeitsaufwandes wird der Feldarbeitsrechner des *Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2020)* herangezogen. Hierzu werden

die Dieserverbräuche während der einzelnen Arbeitsschritte zusammengefasst und anschließend mit dem Energieäquivalent von *Moitzi (2012)* multipliziert. Dadurch erhält man den Energieverbrauch pro Hektar für jede Kultur.

Maschinenaufwand

Für die Berechnung des Energieaufwandes für die Maschinen werden alle am landwirtschaftlichen Betrieb verwendeten Maschinen und Geräte aufgelistet. Danach wurden diese im Lagerhaus Rechnitz am 02.04.2021 auf einer geeichten Waage gewogen. Das Gewicht der einzelnen Maschinen und Geräte wird anschließend mit dem kumulierten Energieaufwand von *Scholz (1997)* multipliziert. Danach werden die einzelnen Ergebnisse zusammengefasst und durch die Gesamthektarzahl des Betriebs dividiert.

Trocknungs- und Transportaufwand

Beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar wurde im untersuchten Zeitraum nur Körnermais nass geerntet. Um den Trocknungsaufwand in MJ/ha zu berechnen, werden Daten von *Rossrucker (1977)* herangezogen. Die Menge und Feuchtigkeit der Ernten auf den einzelnen Feldstücken wurden zusammengefasst und durch die angebauten Hektaranzahl dividiert.

Zur Berechnung des Transportaufwands werden die Entfernungen aller bewirtschafteten Feldstücke des landwirtschaftlichen Betriebs berücksichtigt und die durchschnittliche Entfernung zum Abladesilo berechnet. Für die Entfernung der Feldstücke zum Entladesilo wurde der Wert 5,54 km errechnet, dies ist die durchschnittliche Entfernung der Feldstücke zum Entladeort. Anschließend wurden mit dieser Distanz und den unterschiedlichen Erntemengen die Energieaufwände mit der Methode von Kapitel 4.2.5 berechnet.

Vergleich des Energieinputs und -outputs

Nachdem alle Faktoren berechnet wurden, sind die Energieinputs zusammengefasst und mit den Energieoutputs der Erträge verglichen worden. Dadurch kann für jede einzelne Kultur beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar die Energieerzeugung durch die Ernte mit dem Energieverbrauch für die Produktion verglichen werden.

4.2.10 Systemgrenzen

Die Berechnungen dieser Masterarbeit beinhalten folgende Aspekte:

- Düngemittel,
- Pflanzenschutzmittelverbrauch,
- Saatgutmenge,

- Arbeitsaufwand,
- Maschinenaufwand,
- Trocknung und Transport,
- Ertrag.

Wie weit die Transportwege für Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Saatgut und Maschinen bis zum landwirtschaftlichen Betrieb sind, kann und wird in den Berechnungen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Dies liegt vor allem daran, dass in Zeiten der Globalisierung oft weite Transportwege zurückgelegt werden. Des Weiteren wird nicht betrachtet an wen die produzierten Erntemengen nach dem Transport zum Lagerplatz verkauft werden. Die Systemgrenzen der Berechnungen dieser Masterarbeiten beinhalten daher den kumulierten Energieaufwand für Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Saatgut, Arbeitsaufwand, Maschinenaufwand und den Energieaufwand für die Trocknung und den Transport. Diese Punkte sind die Systemgrenze der Energieverbraucher, die Grenze der Energieerzeuger ist nur der Ertrag.

5 Ergebnisse und Diskussion

Das Kapitel Ergebnisse und Diskussion ist in drei Unterkapitel aufgeteilt. Im ersten Unterkapitel wird der Energieinput und -output des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar beschrieben, im zweiten die In- und Outputs des Musterbetriebs und im dritten werden die Ergebnisse der beiden Betriebe miteinander verglichen. Die Kommastellen der Ergebnisse der Berechnungen wurden auf- bzw. abgerundet, die genauen Lösungen der Berechnungen befinden sich im Anhang.

5.1 Modellbetrieb

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein Modellbetrieb erstellt, um einen Vergleich zum landwirtschaftlichen Betrieb Resetar zu schaffen. Für die Berechnungen der Energieinputs wurden vorwiegend Daten aus der Literatur und aus Praxisversuchen verwendet, die Berechnungsmethode ist dieselbe wie beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar. Die Fruchtfolge des Modellbetriebs ist folgende:

Winterweizen – Körnermais – Sojabohne – Winterraps – Zuckerrübe – Sonnenblume

5.1.1 Pflanzenschutzmittel

Wie bereits in Kapitel 4.2.9 erwähnt, werden, um Informationen über den Pflanzenschutzmittelverbrauch zu erhalten, für jede Kultur in der Fruchtfolge die pflanzenbaulichen Versuche der Landwirtschaftskammer Österreich der letzten sechs Jahre ausgewertet und der Durchschnitt der ausgebrachten Herbizide, Fungizide und Insektizide errechnet. Diese Werte werden dann mit denselben Energieäquivalenten, welche auch beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar verwendet wurden, multipliziert. Da es keine Versuche der Landwirtschaftskammer Österreich gibt, wird beim Pflanzenschutzmittelverbrauch der Zuckerrübe derselbe Wert angenommen, wie beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar.

Tabelle 11 Pflanzenschutzmittelverbrauch beim Modellbetrieb

Kultur	Fungizide (MJ/ha)	Insektizide (MJ/ha)	Herbizide (MJ/ha)
Winterweizen	266	41	258
Körnermais	-	53	583
Sojabohne	-	17	629
Winterraps	134	432	656
Zuckerrübe	637	296	1.852
Sonnenblume	-	-	1.450

Tabelle 11 zeigt den Pflanzenschutzmittelverbrauch in MJ/ha beim Modellbetrieb. Bei Körnermais, Sojabohne und der Sonnenblume werden laut Erhebungen keine Fungizide ausgebracht, ebenso werden bei der Sonnenblume laut den Quellen keine Insektizide verwendet.

5.1.2 Saatgut

Alle Daten der Saatgutmengen, mit Ausnahme der Saatgutmenge für Zuckerrüben und Körnermais, stammen aus den Feldbauratgebern der Landwirtschaftskammern Niederösterreich und Oberösterreich. Die Daten für die Zuckerrüben und den Körnermais wurden vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar übernommen, da keine Literaturquellen vorhanden waren.

Tabelle 12 Saatgutverbrauch beim Modellbetrieb

Kultur	Saatgut (kg/ha)	Saatgut (MJ/ha)
Winterweizen	160	2.080
Körnermais	26	2.550
Sojabohne	110	3.740
Winterraps	5	1.000
Zuckerrübe	3	167
Sonnenblume	5	100

Tabelle 12 listet die verwendeten Saatgutmengen aus der Literatur und vom Betrieb Resetar in kg/ha und in MJ/ha auf.

5.1.3 Düngemittel

Bei der Menge der Düngemittel Stickstoff und Phosphor wurde die für jede Kultur erlaubte höchste Reindüngermenge in kg/ha angenommen und mit den Energieäquivalenten von Kapitel 4.2.3 multipliziert. Die Informationen über die höchstzulässigen Mengen stammen vom AMA-Düngerrechner (Landwirtschaftskammer Oberösterreich 2015). Die Mengen vom Kaliumdünger stammen von einer Publikation des *Industrieverbands Agrar e. V. (2019)*.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13 Düngemittelverbrauch beim Modellbetrieb

Kultur	N (MJ/ha)	P (MJ/ha)	K ₂ O (MJ/ha)
Winterweizen	5.119	869	326
Körnermais	5.472	1.343	483
Sojabohne	2.118	1.027	336
Winterraps	5.472	1.185	431
Zuckerrübe	5.472	1.343	819
Sonnenblume	2.295	1.027	750

5.1.4 Dieseltreibstoff

Um den Dieseltreibstoff zu berechnen, wurden Daten des *österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung (2021)* und des *Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2020)* verwendet. Diese Daten wurden mit dem Energieäquivalent von *Moitzi (2012)* multipliziert.

Für den Modellbetrieb wurden zwei Szenarien erstellt:

1. Größtmögliche Mechanisierung
2. Kleinstmögliche Mechanisierung

Größtmögliche Mechanisierung

Tabelle 14 auf der folgenden Seite zeigt die Mechanisierung im Szenario der größtmöglichen Mechanisierung. Theoretisch wäre, weltweit betrachtet, eine größere Mechanisierung möglich gewesen, dieses Szenario entspricht jedoch deutlich mehr der österreichischen Realität. Die Mechanisierung ist hierbei stark angelehnt an der Mechanisierung des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar, da es sich hierbei um einen großen Betrieb in Österreich handelt.

In der Tabelle 14 sind alle Arbeitsschritte in der Fruchtfolge mit ihrem Dieserverbrauch in l/ha bzw. Energieinput in MJ/ha aufgelistet und in die drei Bereiche Saatbeetbereitung, Aussaat und Kulturpflege und Ernte unterteilt. Die Daten stammen vom *österreichischen Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (2021)* und vom *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2020)*.

Unterhalb der Tabelle sind die angenommenen Arbeitsschritte der Fruchtfolge aufgelistet. Die Arbeitsbreite und Größe der Fahrzeuge wurden bewusst nicht hinzugefügt, diese können aus der Tabelle entnommen werden. Einige Schritte wurden mehrmals pro Kultur durchgeführt, dies wird jeweils in der Klammer neben dem jeweiligen Schritt vermerkt.

Tabelle 14 Szenario größtmögliche Mechanisierung Modellbetrieb (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2020¹; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021²)

Arbeitsschritt	Größtmögliche Mechanisierung	Dieselvebrauch (l/ha)	Energieäquivalent (MJ/ha)
Saatbearbeitung	Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber (6 m, 200 kW) ¹	12	509
	Bodenbearbeitung mit Grubber tief (3 m, 200 kW) ¹	20	878
Aussaat und Kulturpflege	Bodenbearbeitung mit Scheibenege ²	7	310
	Bodenbearbeitung mit Pflug (6 Schare, 200 kW) ¹	33	1.460
	Bodenbearbeitung mit Federzinkenegge (6 m, 83 kW) ¹	7	292
	Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine (4 m, 138 kW) ¹	17	738
	Walzen mit Ackerfläche (8 m, 83 kW) ¹	5	225
	Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze (21 m, 83 kW) ¹	2	105
	Pflege mit Striegel (15 m, 83 kW) ¹	2	93
	Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer (83 kW) ¹	2	67
	Einzelkornsaat Körnermais (12-reihig, 67 kW) ¹	3	144
	Einzelkornsaat Sojabohne/Zuckerrübe (12-reihig, 87 kW) ¹	7	296
Ernte	Hacken mit Hackgerät (12-reihig, 67 kW) ¹	5	216
	Einzelkornsaat Sonnenblume (12-reihig, 54 kW) ¹	4	165
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 3 t/ha ¹	23	1.027
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 10 t/ha ¹	31	1.366
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 6 t/ha ¹	25	1.115
	Ernte mit Zuckerrübenroder-Selbstfahrer ²	53	2.348

Arbeitsschritte Winterweizen

- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber tief
- Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine
- Walzen der Ackerfläche
- Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze (2x)
- Pflege mit Striegel (2x)
- Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 6 t/ha

Arbeitsschritte Körnermais

- Bodenbearbeitung mit Scheibenegge
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach (Anmerkung: Arbeitsgang etwas tiefer, daher Bodenbearbeitungswiderstand höher)
- Einzelkornsaat Körnermais
- Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze
- Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 10 t/ha

Arbeitsschritte Sojabohne

- Bodenbearbeitung mit Pflug
- Bodenbearbeitung mit Federzinkenegge
- Einzelkornsaat Sojabohne
- Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze
- Hacken mit Hackgerät (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 3 t/ha

Arbeitsschritte Winterraps

- Bodenbearbeitung mit Scheibenegge
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach (Anmerkung: Arbeitsgang etwas tiefer, daher Bodenbearbeitungswiderstand höher)
- Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine
- Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze (3x)

- Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 3 t/ha

Arbeitsschritte Zuckerrübe

- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber tief
- Einzelkornsaat Zuckerrübe
- Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze (4x)
- Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Zuckerrübenroder, Selbstfahrer

Arbeitsschritte Sonnenblume

- Bodenbearbeitung mit Scheibenegge
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber flach (Anmerkung: Arbeitsgang etwas tiefer, daher Bodenbearbeitungswiderstand höher)
- Einzelkornsaat Sonnenblume
- Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze
- Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 3 t/ha

Summiert man nun alle genannten Arbeitsschritte der Fruchtfolge ergibt dies einen Energieaufwand von 3.679 MJ/ha.

Kleinstmögliche Mechanisierung

Tabelle 15 zeigt die kleinstmögliche Mechanisierung des Modellbetriebs. Die Arbeitsschritte wurden auch hier in die drei Bereiche Saatbeetbereitung, Aussaat und Kulturpflege und Ernte unterteilt. Zum Bereich Ernte ist folgendes anzumerken: Es ist davon auszugehen, dass ein kleiner landwirtschaftlicher Betrieb keine eigene Erntemaschine besitzt und die Erntetätigkeit extern durch einen Dritten durchgeführt wird. Aus diesem Grund ist hier dieselbe Größe angenommen worden, wie beim größtmöglichen Szenario.

Unterhalb der Tabelle sind die angenommenen Arbeitsschritte der Fruchtfolge aufgelistet. Einige Schritte wurden mehrmals pro Kultur durchgeführt, dies wird jeweils in der Klammer neben dem jeweiligen Schritt vermerkt.

Tabelle 15 Szenario kleinstmögliche Mechanisierung Modellbetrieb (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2020¹; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021²)

Arbeitsschritt	Kleinstmögliche Mechanisierung	Dieselvebrauch (l/ha)	Energieäquivalent (MJ/ha)
Saatbearbeitung	Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber ²	9	390
	Bodenbearbeitung mit Feingrubber ²	7	310
	Eggen mit Kurzschneibenegge (2,5 m, 45 kW) ¹	5	199
	Bodenbearbeitung mit Pflug ²	23	1.019
	Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine ²	15	665
	Walzen mit Ackerfläche ²	4	155
	Pflanzenschutz mit Feldspritze ²	2	89
	Düngerausbringung mit Anbauschleuderstreuer ²	2	67
	Einzelkornsaat Körnermais ²	5	222
	Einzelkornsaat Sojabohne ²	5	222
Ernte	Hacken mit Hackgerät (5-reihig, 45 kW) ¹	5	230
	Einzelkornsaat Sonnenblume ²	5	222
	Einzelkornsaat Zuckerrübe ²	5	222
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 3 t/ha ¹	23	1.027
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 10 t/ha ¹	31	1.366
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 6 t/ha ¹	25	1.115
	Ernte mit Zuckerrübenroder-Selbstfahrer ²	53	2.348

Winterweizen

- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber (2x)
- Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine
- Walzen der Ackerfläche
- Pflanzenschutz mit Feldspritze (3x)
- Düngerausbringung mit Anbauschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 6 t/ha

Körnermais

- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber (3x)
- Einzelkornsaat Körnermais
- Pflanzenschutz mit Feldspritze
- Düngerausbringung mit Anbauschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 10 t/ha

Sojabohne

- Bodenbearbeitung mit Pflug
- Bodenbearbeitung mit Feingrubber
- Einzelkornsaat Sojabohne
- Pflanzenschutz mit Feldspritze
- Hacken mit Hackgerät (2x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 3 t/ha

Winterraps

- Eggen mit Kurzscheibenegge
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber
- Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine
- Pflanzenschutz mit Feldspritze (4x)
- Düngerausbringung mit Anbauschleuderstreuer (2x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 3 t/ha

Zuckerrübe

- Eggen mit Kurzscheibenegge
- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber (2x)
- Einzelkornsaat Zuckerrübe

- Pflanzenschutz mit Feldspritze (4x)
- Düngerausbringung mit Anbauschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Zuckerrübenroder, Selbstfahrer

Sonnenblume

- Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber (2x)
- Einzelkornsaat Sonnenblume
- Pflanzenschutz mit Feldspritze
- Düngerausbringung mit Anbauschleuderstreuer (3x)
- Ernte mit Mähdrescher, Erntemenge 3 t/ha

Summiert man nun alle genannten Arbeitsschritte der Fruchtfolge ergibt dies einen Energieaufwand von 3.039 MJ/ha.

Vergleicht man im nächsten Schritt die beiden Szenarien sieht man, dass die kleinstmögliche Mechanisierung um 640 MJ weniger Energieinput aufweist, als die größtmögliche. Für die weitere Berechnung wird der Energieinput der kleinstmöglichen Mechanisierung verwendet, da dieser realitätsnaher und dadurch besser für den Modellbetrieb der Masterarbeit geeignet ist.

5.1.5 Transportaufwand

Um den Modellbetrieb mit dem landwirtschaftlichen Betrieb Resetar besser vergleichen zu können, wurde für die Fruchtfolge derselbe Transportweg, nämlich 5,54 km, angenommen. Da der Transportweg speziell bei der Zuckerrübe eine wichtige Rolle einnimmt, wurden für diese Kultur extra noch die Entfernungen von 50 km und 150 km berechnet.

Die Daten über die Erntemengen stammen von der AMA Sommererhebung und AMA Herbstherhebung. Hierbei wurden die Daten der Jahre 2015 bis 2020 erhoben und der Durchschnitt berechnet. Nur die Daten über die Erntemengen der Zuckerrübe wurden vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar herangezogen, da diese von der AMA nicht erhoben werden (AgrarMarkt Austria 2015b, 2015a, 2020a, 2020b, 2016b, 2016a, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b).

Tabelle 16 Energieinput durch Transport beim Modellbetrieb bei einem Transportweg von 5,54 km

Kultur	Erntemenge (kg/ha)	Transportaufwand (MJ/ha)	Anteil am Gesamtenergieinput
Winterweizen	5.972	132	0,90 %
Körnermais	10.496	232	1,01 %
Sojabohne	2.851	63	0,48 %
Winterraps	3.188	70	0,49 %
Zuckerrübe	65.197	1.440	10,03 %
Sonnenblume	2.664	59	0,58 %

Tabelle 16 zeigt, dass auch beim Modellbetrieb, wie bereits beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar, der Anteil des Transportaufwands bei allen Kulturen, mit Ausnahme der Zuckerrübe, sehr gering ist.

Abbildung 4 zeigt wie groß der Anteil, abhängig vom Transportweg, des Transportaufwands bei der Zuckerrübe sein kann; während der Anteil am Gesamtenergieinput bei 5,54 km nur bei 10,03 % liegt, ist dieser bei 150 km schon bei 75,12 %.

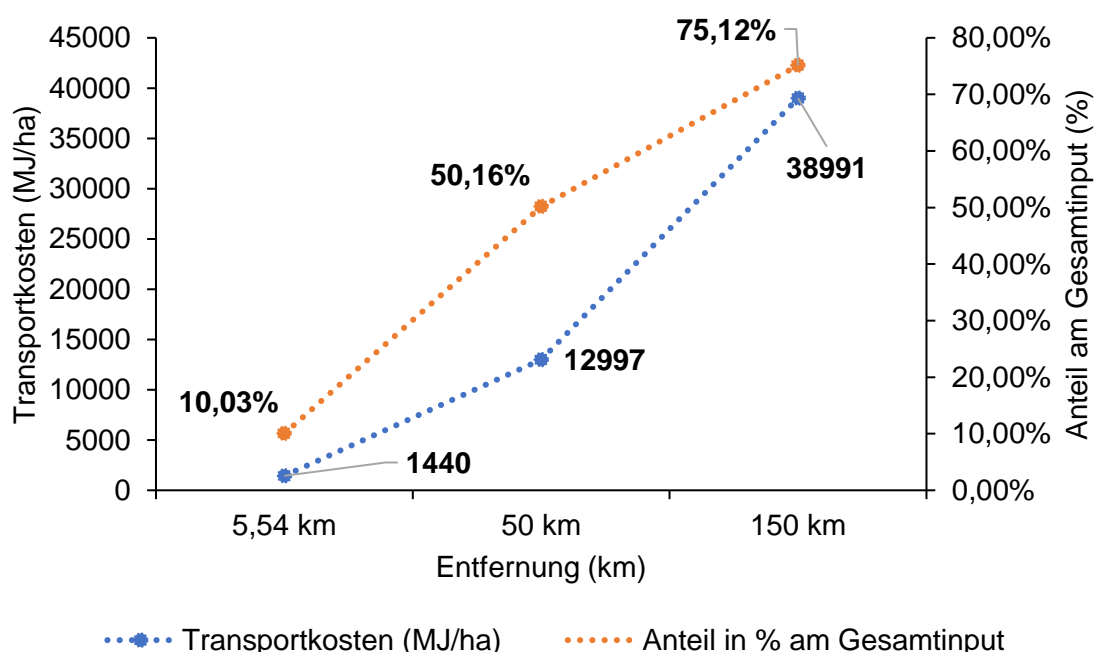


Abbildung 4 Energieinput bei Transport von Zuckerrüben beim Modellbetrieb

5.1.6 Trocknungsaufwand

Beim Modellbetrieb wird angenommen, dass ausschließlich Körnermais feucht geerntet wird. Für die Berechnung des Energieinputs für die Trocknung werden, wie bereits in Kapitel 4.2.6 erwähnt, die Daten von *Rossrucker (1977)* mit dem Energieäquivalent von *Badger et al. (1999)* multipliziert. Angenommen wird in der Berechnung eine Feuchtigkeit von 24 %.

Bei einer Erntemenge von 10.496 kg/ha ergeben die Berechnungen einen Energieinput von 6.924 MJ/ha.

5.1.7 Maschinenaufwand

Der Maschinenaufwand beim Modellbetrieb wurde mit derselben Formel berechnet wie bereits in Kapitel 4.2.9.1 dargestellt. Tabelle 17 stellt den Energieaufwand für die Maschinenproduktion dar.

Tabelle 17 Energieinput durch Maschinenproduktion beim Modellbetrieb

Mechanisierung	Typ	Gewicht (kg)	Abschreibung (Jahre)	MJ/Gerät	MJ/ha
John Deere (130 PS)	Radtraktor	5.250	16	485.625	607
John Deere (115 PS)	Radtraktor	4.825	16	446.313	558
Kipper	Anhänger	1.660	20	125.330	125
Kipper	Anhänger	1.660	20	125.330	125
Grubber 4 m	Bodenbearbeitungsgerät	1.695	20	122.888	123
Pflug 4 Scharren	Bodenbearbeitungsgerät	1.550	20	112.375	112
Kurzscheibenegge 2,5 m	Bodenbearbeitungsgerät	1.470	20	106.575	107
Hackgerät Soja 5-reihig	Bodenbearbeitungsgerät	630	20	45.675	46
Schleppgerät	Bodenbearbeitungsgerät	1.500	20	108.750	109
Kreiselegge	Bodenbearbeitungsgerät	965	20	69.963	70
Einzelkornsaatmaschine 6-reihig	Ausbringergerät	420	15	29.610	40
Drillsaatmaschine	Ausbringergerät	560	20	39.480	40
Maissaatgerät 6-reihig	Ausbringergerät	1.150	15	81.075	108
Anbauspritze 15 m	Ausbringergerät	690	20	48.645	49
Anbaudüngerstreuer	Ausbringergerät	300	15	21.150	28
Summe					2.247

5.1.8 Ertrag

Tabelle 18 listet nur die Erntemengen in kg/ha und in MJ/ha auf. Wie bereits erwähnt, stammen die Daten der Erntemengen von den AMA Sommererhebungen, den AMA Herbsthebungen und für die Zuckerrübe vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar. Bei den Daten der Erhebungen wurden die Publikationen der AMA im Zeitraum von 2015 bis 2020 verwendet und jeweils der Durchschnitt errechnet.

Tabelle 18 Erntemengen Modellbetrieb

Kultur	Erntemenge (kg/ha)	Erntemenge (MJ/ha)
Winterweizen	5.972	111.079
Körnermais	10.496	194.176
Sojabohne	2.851	104.917
Winterraps	3.188	119.869
Zuckerrübe	65.197	119.311
Sonnenblume	2.664	98.035

5.1.9 Vergleich zwischen Energieinput und -output

Tabelle 19 zeigt nochmals die genaue Art der Berechnung der Energieinputs und -outputs. In dieser Tabelle sind alle Schritte, die für die Berechnung benötigt werden, aufgelistet. Diese Tabelle zeigt auch, dass der Faktor Stickstoffdüngung der mit Abstand wichtigste Energieinput ist, gefolgt vom Dieserverbrauch bei den Arbeitsschritten.

Tabelle 19 Berechnungen Energieinput und -output für Winterweizen Modellbetrieb

Winterweizen	Input (MJ/ha)	Output (MJ/ha)
Fungizide	266	
Insektizide	41	
Herbizide	258	
Saatgut	2.080	
Stickstoffdünger	5.119	
Phosphordünger	869	
Kaliumdünger	326	
Dieserverbrauch	3.039	
Transport	132	
Trocknung	0	
Maschinen	2.247	
Ertrag		111.079
Summe	14.377	111.079

Tabelle 20 zeigt das Verhältnis zwischen Energieinput und -output aller Kulturen der Fruchtfolge des Modellbetriebs. Alle Kulturen des Modellbetriebs zeigen ein deutlich positives Verhältnis zwischen Input und Output. Vergleicht man speziell das Verhältnis der Kultur Zuckerrübe mit dem Verhältnis beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar, wird nochmals deutlich, wie wichtig der Faktor Transport bei dieser Kultur ist. Beim Betrieb Resetar ist das Verhältnis nur 260,47 %, beim Modellbetrieb hingegen 831,22 %.

Tabelle 20 Verhältnis zwischen Energieinput und -output Modellbetrieb

Kultur	Energieinput (MJ/ha)	Energieoutput (MJ/ha)	Verhältnis zwischen Input und Output
Winterweizen	14.532	111.079	772,61 %
Körnermais	22.956	194.176	845,85 %
Sojabohne	13.171	104.917	796,56 %
Winterraps	14.270	119.869	840,00 %
Zuckerrübe	14.354	119.311	831,22 %
Sonnenblume	10.128	98.035	967,93 %

5.2 Landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

Im Zeitraum von 2015 bis inklusive 2020 wurden vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar Daten über Pflanzenschutzmittel, Saatgutausbringung, Düngemittel, Dieseltreibstoff, Transportwege, Trocknungsaufwand, Maschinenaufwand und Ertrag erhoben. Die gesammelten Daten wurden mit den Energieäquivalenten, welche in Kapitel 4.2 beschrieben worden sind, in MJ/ha Energieoutput und -input umgerechnet und zusammengefasst. Abschließend wurden alle Daten auf einen ha Ackerfläche heruntergebrochen.

5.2.1 Pflanzenschutzmittel

In den Erhebungen der Daten wurden die Pflanzenschutzmittel in Herbizide, Fungizide und Insektizide ausgewiesen und in l/ha erhoben. Auf Grund fehlender Daten der Hersteller und fehlenden Angaben wurde 1 l/ha Pflanzenschutzmittel in den Berechnungen als 1 kg/ha Pflanzenschutzmittel angenommen und umgerechnet. Die Erhebungen wurden mit den Energieäquivalenten von Kapitel 4.2.1 multipliziert und die Ergebnisse werden in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21 Energieinput durch Pflanzenschutzmittel beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Fungizide (MJ/ha)	Insektizide (MJ/ha)	Herbizide (MJ/ha)
2015	Sojabohne	-	-	666
	Sonnenblume	-	-	1.658
	Zuckerrübe	106	296	2.150
	Winterweizen	299	74	65
	Körnermais	-	-	875
2016	Sojabohne	-	-	780
	Sonnenblume	-	-	1.709
	Zuckerrübe	283	296	2.461
	Winterweizen	310	83	65
	Körnermais	-	-	888
2017	Sojabohne	-	-	891
	Zuckerrübe	637	296	1.852
	Winterweizen	197	18	155
	Körnermais	-	-	808
2018	Sojabohne	-	-	596
	Winterweizen	319	33	39
	Körnermais	-	-	951
2019	Sojabohne	-	-	842
	Winterweizen	241	30	39
	Körnermais	-	-	1.036
	Ölkürbis	-	-	518
2020	Sojabohne	-	-	860
	Winterweizen	113	12	733
	Körnermais	-	-	1.036
	Ölkürbis	-	-	518

5.2.2 Saatgut

Der Saatgutverbrauch wurde in kg/ha errechnet und mit den genannten Energieäquivalenten von Kapitel 4.2.2 multipliziert. Tabelle 22 stellt den Saatgutverbrauch in MJ/ha im Zeitraum von 2015 bis 2020 dar.

Tabelle 22 Energieinput durch Saatgut beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Saatgut (MJ/ha)
2015	Sojabohne	5.733
	Sonnenblume	107
	Zuckerrübe	167
	Winterweizen	2.591
	Körnermais	2.572
2016	Sojabohne	5.784
	Sonnenblume	120
	Zuckerrübe	167
	Winterweizen	2.469
	Körnermais	2.511
2017	Sojabohne	5.436
	Zuckerrübe	167
	Winterweizen	2.276
	Körnermais	2.468
2018	Sojabohne	5.559
	Winterweizen	2.270
	Körnermais	2.551
2019	Sojabohne	5.380
	Winterweizen	2.467
	Körnermais	2.623
	Ölkürbis	1.360
2020	Sojabohne	4.560
	Winterweizen	2.200
	Körnermais	2.573
	Ölkürbis	1.360

5.2.3 Düngemittel

Bei der Berechnung der Energiewerte vom Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdünger wurden jeweils der Reinnährstoffgehalt für die Kalkulation verwendet. Die Reinnährstoffwerte werden mit den Energieäquivalenten von Kapitel 4.2.3 multipliziert. Die Energieinputs je Kultur und Düngemittel pro Hektar sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23 Energieinput durch Düngemittel beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Stickstoff (MJ/ha)	Phosphor (MJ/ha)	Kalium (MJ/ha)
2015	Sojabohne	-	770	112
	Sonnenblume	2.107	954	400
	Zuckerrübe	4.567	1.340	704
	Winterweizen	5.118	861	166
	Körnermais	5.331	1.329	336
2016	Sojabohne	-	828	141
	Sonnenblume	2.116	1.012	282
	Zuckerrübe	4.442	1.312	598
	Winterweizen	4.969	800	200
	Körnermais	5.180	1.245	308
2017	Sojabohne	528	237	31
	Zuckerrübe	3.932	1.291	752
	Winterweizen	5.014	837	132
	Körnermais	4.895	1.263	273
2018	Sojabohne	-	432	63
	Winterweizen	5.103	845	171
	Körnermais	5.176	1.282	383
2019	Sojabohne	-	739	68
	Winterweizen	5.063	801	205
	Körnermais	5.052	1.316	424
	Ölkürbis	3.111	764	307
2020	Sojabohne	41	170	65
	Winterweizen	5.989	1.026	158
	Körnermais	4.944	1.343	420
	Ölkürbis	3.174	774	298

5.2.4 Dieseltreibstoff

Für die Berechnung des Dieserverbrauchs wurden, wie bereits in Kapitel 4.2.4 erläutert, Daten des KTBL Feldarbeitrechners mit dem Energieäquivalent für Diesel von *Moitzi (2012)* multipliziert. Der Transportaufwand ist in diesem Unterpunkt nicht einberechnet, dieser wird im nächsten Kapitel bearbeitet. Für die Berechnungen wurden die einzelnen Arbeitsschritte für jede Kultur separat ermittelt. In der Tabelle 24 werden die Arbeitsschritte in folgende drei Bereiche zusammengefasst und dargestellt:

- Saatbeetbereitung
- Aussaat und Kulturpflege
- Ernte

Sojabohne

Da beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar nach Mais Sojabohnen angebaut werden und die Maisfelder immer gepflügt werden, macht die Saatbeetbereitung bei der Kultur Sojabohne den größten Anteil aus.

Im Jahr 2015 machte die Saatbeetbereitung 51 % des gesamten Energieinputs des Diesels bei der Kultur Sojabohne aus. Im Jahr 2020 sank dieser Anteil auf 46 % des Gesamtinputs auf Grund von verschiedenen zusätzlichen Kulturpflagemassnahmen, dennoch ist dieser Bereich weiterhin der größte Verbraucher.

Der Anteil des Energieinputs für die Ernte machte im Jahr 2015 38 % aus und sank auf 34 % im Jahr 2020. Die Energieinputs sind um etwa 13 % geringer als bei der Saatbeetbereitung.

Sonnenblume

Die Saatbeetbereitung und Ernte machten in den Jahren 2015 und 2016 39 % bzw. 43 % des gesamten Energieinputs des Diesels aus. Der Grund, weshalb die Energieinputs für die Ernte der Sonnenblume höher sind als die Inputs für die Saatbeetbereitung, ist, dass die Saatbeetbereitung bei dieser Kultur nur durch zweimaliges seichtes grubbern durchgeführt wird. Diese Tätigkeit benötigt nicht viel Arbeitskraft und ist leichter durchzuführen wie beispielsweise das Pflügen.

Zuckerrübe

Wie auch bei der Sonnenblume ist bei der Zuckerrübe der anteilmäßige Energieinput des Diesels bei der Saatbeetbereitung geringer als bei der Ernte, obwohl bei der Zuckerrübe mit der Tiefenlockerung eine arbeitsintensive Tätigkeit durchgeführt wird. Die Saatbeetbereitung macht 38 % und die Ernte 42 % aus. Der Grund hierfür ist, dass die Erntemaschine für Zuckerrüben sehr viel Leistung benötigt, da sie hohe Gewichte verarbeiten muss.

Winterweizen

Beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar wurde in den Jahren 2015 bis einschließlich 2017 bei der Saatbeetbereitung dreimal der Grubber eingesetzt. Aus diesem Grund war im Jahr 2015 beispielsweise der Anteil des Gesamtenergieinputs des Diesels mit 41 % um knapp 12 % höher als bei der Ernte. Ab dem Jahr 2018 entschied sich der Betriebsführer den Grubber lediglich zweimal einzusetzen. Dadurch kam es zu einer deutlichen Verringerung des Inputs für die Saatbeetbereitung und der Anteil war im Jahr 2018 mit 31 % um fast 2 % geringer als bei der Ernte.

Körnermais

Die Saatbeetbereitung und Ernte beim Mais wurde im Erhebungszeitraum nicht verändert und kontinuierlich beibehalten. Aus den Daten ergibt sich ein Anteil von 48 % bzw. 40 % des Gesamtenergieinputs des Diesels für die Saatbeetbereitung bzw. für die Ernte.

Ölkürbis

Der Ölkürbis ist die einzige Kultur in der Fruchtfolge vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar, bei welcher die Aussaat und Kulturpflege einen größeren Anteil ausmacht als die Ernte. Die Saatbeetbereitung macht mit 42 % den größten Teil aus, die Aussaat und Kulturpflege mit 31 % den zweitgrößten Teil und die Ernte mit 26 % den kleinsten Teil aus. Der Grund hierfür ist, dass beim Ölkürbis mit dem „Hacken“ der Kultur ein arbeitsintensiver Schritt zweimal durchgeführt wird.

Tabelle 24 Energieinput bemessen am Dieserverbrauch beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Saatbeet- bereitung (MJ/ha)	Aussaat und Kulturpflege (MJ/ha)	Ernte (MJ/ha)	Summe (MJ/ha)
2015	Sojabohne	1.896	402	1.394	3.692
	Sonnenblume	927	432	1.010	2.369
	Zuckerrübe	1.584	852	1.757	4.192
	Winterweizen	1.570	1.122	1.123	3.815
	Körnermais	1.602	386	1.326	3.314
2016	Sojabohne	1.896	468	1.394	3.758
	Sonnenblume	927	432	1.010	2.369
	Zuckerrübe	1.584	852	1.757	4.192
	Winterweizen	1.570	1.122	1.123	3.815
	Körnermais	1.602	386	1.326	3.314
2017	Sojabohne	1.896	412	1.394	3.702
	Zuckerrübe	1.584	852	1.757	4.379
	Winterweizen	1.570	1.019	1.123	3.711
	Körnermais	1.602	386	1.326	3.314
2018	Sojabohne	1.896	776	1.394	4.065
	Winterweizen	1.046	1.163	1.123	3.333
	Körnermais	1.602	386	1.326	3.314
2019	Sojabohne	1.896	589	1.394	3.878
	Winterweizen	1.046	1.163	1.123	3.332
	Körnermais	1.602	386	1.326	3.314
	Ölkürbis	1.671	1.263	1.034	3.968
2020	Sojabohne	1.896	831	1.394	4.121
	Winterweizen	1.046	1.227	1.123	3.396
	Körnermais	1.602	386	1.326	3.314
	Ölkürbis	1.671	1.263	1.034	3.968

Die Saatbeetbereitung und die Ernte sind die Hauptverbraucher des Energieinputs. Hierbei ist anzumerken, dass der Dieserverbrauch der Saatbeetbereitung stark abhängig von der jeweiligen Bodenbearbeitungsart und daher von Kultur zu Kultur sehr unterschiedlich ist. Nach *Mal et. al. (2015)* bietet die konservierende Bodenbearbeitung erhebliches

Diese Einsparungspotential; die Berechnungen dieser Arbeit kommen zum selben Schluss. Abbildung 5 zeigt drei verschiedenen Kombinationen des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar; weiters gibt diese Abbildung Aufschluss über den steigenden Dieserverbrauch der verschiedenen Bodenbearbeitungskombinationen. Man sieht hier deutlich, dass das Pflügen am meisten Energie pro Hektar benötigt.

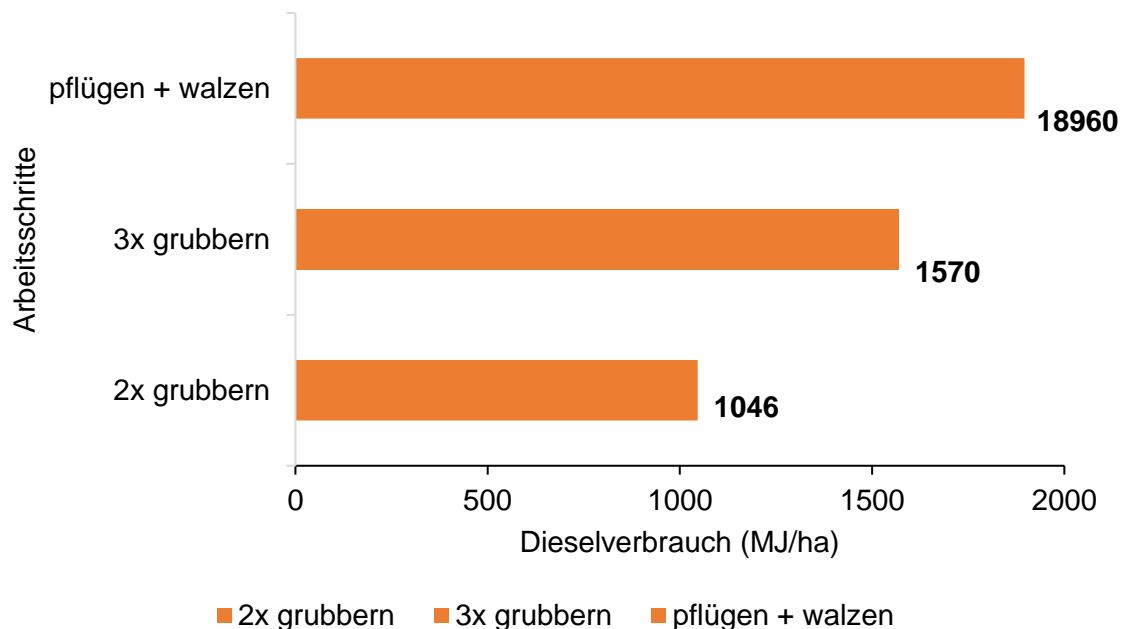


Abbildung 5 Dieserverbrauch in MJ/ha bei der Saatbeetbereitung

5.2.5 Transportaufwand

Wie in Kapitel 4.2.5 erwähnt, wird für die Ermittlung des Transportaufwands der Richtwert des *österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung (2021)* mit dem Dieselergieäquivalent von *Moitzi (2012)* multipliziert.

Beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar ergaben die Berechnungen der Entfernungen vom Acker zum Abladeort bei den Kulturen Sojabohne, Sonnenblume, Weizen und Mais 5,54 km, bei der Kultur Zuckerrübe 120 km und bei der Kultur Ölkürbis 32,5 km.

Bei genauer Betrachtung der Tabelle 25 wird deutlich, dass der Transportaufwand, je nach Gewicht der Erntemengen und der Entfernung zum Abladeort, eine hohe Bedeutung am Gesamtenergieinput hat. Bei der Kultur Zuckerrübe macht der Anteil des Transportaufwands 68 % aus und ist damit für 2/3 des Gesamtenergieinputs verantwortlich. Bei den anderen Kulturen, die geringere Erntemengen aufweisen und bei welchen die Transportwege deutlich kürzer sind, macht der Transportaufwand einen sehr kleinen Anteil aus.

Tabelle 25 Energieinput durch Transport beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Transportaufwand (MJ/ha)	Erntemengen (kg/ha)
2020	Sojabohne	71	3.224
2016	Sonnenblume	54	2.451
2017	Zuckerrübe	31.193	65.197
2020	Winterweizen	167	7.589
2020	Körnermais	279	12.619
2020	Ölkürbis	95	739

5.2.6 Trocknungsaufwand

Der Trocknungsaufwand wird, wie bereits in Kapitel 4.2.6 erwähnt, mit den Daten von *Rossrucker (1977)* und *Badger et. al. (1999)* berechnet. Beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar fällt der Trocknungsaufwand nur beim Körnermais an, da alle anderen Kulturen der Fruchtfolge trocken geerntet werden.

Tabelle 26 zeigt die Abhängigkeit des Trocknungsaufwands von der Erntemenge und der Erntefeuchtigkeit. Dies wird vor allem anhand des Vergleichs der Jahre 2015, 2017 und 2019 ersichtlich. In diesen Jahren wurde der Mais mit einer Durchschnittsfeuchtigkeit von 25 %, jedoch mit unterschiedlichen Durchschnittserntemengen, geerntet. Dadurch unterscheidet sich der Trocknungsaufwand teilweise deutlich.

Tabelle 26 Energieinput durch Trocknung beim Körnermais des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar

Jahr	Trocknungsaufwand (MJ/ha)	Erntemenge (kg/ha)	Feuchtigkeit (%)
2015	5.900	8.120	25
2016	7.169	10.868	24
2017	6.375	8.775	25
2018	3.080	7.762	20
2019	7.458	10.264	25
2020	7.539	12.618	23

5.2.7 Maschinenaufwand

Die Maschinen des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar wurden im ersten Schritt aufgelistet und anschließend auf einer geeichten Waage im Lagerhaus Rechnitz abgewogen. Die Berechnung des Energieinputs durch die Maschinenproduktion ergibt sich aus folgender Formel:

$$(MJ/ha) = (Maschinengewicht * Energieäquivalente v. Scholz) / (318 * Abschreibungsjahre)$$

Beim John Deere Mähdrescher (430 PS) wurde ein jährlicher Hektareinsatz von 500 ha angenommen, da der Mähdrescher auch außerhalb des Betriebs verwendet wird und daher einen höheren Hektarsatz pro Jahr hat. Die Daten über die Abschreibungsjahre stammen vom österreichischen Kuratorium für Landtechnik (Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung o. J.).

Tabelle 27 stellt den Energieaufwand durch die Maschinenproduktion dar. Der landwirtschaftliche Betrieb Resetar benötigt für die betriebseigenen Maschinen pro Jahr 1.307 MJ/ha.

Tabelle 27 Energieinput durch Maschinenproduktion beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Mechanisierung	Typ	Gewicht (kg)	MJ/Gerät	Absch.	MJ/ha
John Deere (115 PS)	Radtraktor	4.825	446.313	12	117
John Deere (250 PS)	Radtraktor	9.500	878.750	8	345
John Deere (130 PS)	Radtraktor	5.250	485.625	12	127
John Deere Mähdrescher (430 PS)	Selbstfahrende Erntemaschine	13.700	1.267.250	10	253
Kipper Brandtner	Anhänger	4.400	332.200	20	52
Kipper Brandtner	Anhänger	1.660	125.330	20	20
Kipper	Anhänger	6.000	453.000	20	71
Grubber	Bodenbearbeitungsgerät	2.130	154.425	15	32
Tiefengrubber	Bodenbearbeitungsgerät	1.950	141.375	20	22
Pflug	Bodenbearbeitungsgerät	2.800	203.000	15	43
Kombination	Bodenbearbeitungsgerät	2.010	145.725	20	23
Scheibenegge	Bodenbearbeitungsgerät	3.300	239.250	20	38
Schleppgerät	Bodenbearbeitungsgerät	1.500	108.750	20	17
Striegel	Bodenbearbeitungsgerät	1.310	94.975	20	15
Hackgerät Soja	Bodenbearbeitungsgerät	1.380	100.050	20	16
Hackgerät Kürbis	Bodenbearbeitungsgerät	590	42.775	20	7
Kreiselegge	Bodenbearbeitungsgerät	965	69.963	20	11
Ackerwalze	Bodenbearbeitungsgerät	2.600	188.500	20	30
Einzelkornsaatmaschine pneumatisch	Ausbringgerät	1.800	126.900	15	27
Maissaatgerät	Ausbringgerät	1.150	81.075	15	17
Drillsaatmaschine	Ausbringgerät	560	39.480	20	6
Düngerstreuer	Ausbringgerät	680	47.940	15	10
Anbauspritze	Ausbringgerät	690	48.645	20	8
Summe					1.307

5.2.8 Ertrag

Tabelle 28 zeigt die Ertragsmengen der verschiedenen Kulturen im Zeitraum von 2015 bis 2020. Der Reinertrag in kg/ha wurde mit den Energieäquivalenten von *Badger et. al.* (1999) multipliziert, dadurch erhält man den Energieoutput der verschiedenen Kulturen.

Tabelle 28 Ertrag und Energieoutput beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Ertrag kg/ha	Energieoutput MJ/ha
2015	Sojabohne	2.050	75.440
	Sonnenblume	2.023	74.412
	Zuckerrübe	60.247	110.252
	Winterweizen	5.382	100.108
	Körnermais	8.120	150.223
2016	Sojabohne	2.089	76.862
	Sonnenblume	2.451	90.206
	Zuckerrübe	62.387	114.169
	Winterweizen	5.868	109.141
	Körnermais	10.868	201.055
2017	Sojabohne	2.172	79.940
	Zuckerrübe	65.197	119.311
	Winterweizen	5.435	101.096
	Körnermais	8.775	162.334
2018	Sojabohne	2.560	94.208
	Winterweizen	6.235	115.971
	Körnermais	7.763	143.606
2019	Sojabohne	2.982	109.754
	Winterweizen	6.026	112.078
	Körnermais	10.265	189.898
	Ölkürbis	692	19.595
2020	Sojabohne	3.225	118.670
	Winterweizen	7.589	141.155
	Körnermais	12.619	233.447
	Ölkürbis	739	20.915

5.2.9 Vergleich zwischen Energieinput und -output

Tabelle 29 stellt die Berechnungen der Masterarbeit für Winterweizen im Jahr 2020 beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar dar. Auf dieselbe Weise wurde dies für jede andere Kultur in der Fruchtfolge im Zeitraum von 2015 bis 2020 durchgeführt und berechnet. Diese Tabelle soll nur einen Überblick geben wie bei den Berechnungen vorgegangen wurde.

Tabelle 29 Berechnung der Energieinputs und -outputs für Winterweizen im Jahr 2020

Winterweizen (2020)	Input (MJ/ha)	Output (MJ/ha)
Fungizide	113	
Insektizide	12	
Herbizide	733	
Saatgut	2.200	
Stickstoffdünger	5.989	
Phosphordünger	1.026	
Kaliumdünger	158	
Dieserverbrauch Summe Arbeitsschritte	3.396	
Transport	168	
Trocknung	0	
Maschinen	1.307	
Ertrag		141.155
Summe	15.102	141.155

Zusammenfassend zu den Berechnungen beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar sieht man in der Tabelle 30 nochmals die Energieinputs- und -outputs aufgelistet. In dieser Tabelle werden nur die aktuellsten Werte verwendet, um einen besseren Überblick zu gewährleisten.

Jede Kultur weist ein positives Verhältnis zwischen Input und Output auf, doch es sind deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Kulturen erkennbar. Beispielsweise hat Weizen, obwohl er den größten Energieoutput in der Fruchtfolge liefert, nicht das beste Verhältnis, da Weizen ebenso einen größeren Energieinputbedarf hat, als andere Kulturen. Ebenso weist die Zuckerrübe ein schlechtes Verhältnis auf, welches aber primär an der Tatsache liegt, dass die Zuckerrübe weite Transportwege und schwere Erträge, gemessen in kg/ha, kennzeichnen.

Das schlechteste Verhältnis ergibt sich beim Ölkürbis. Dies liegt an den, im Vergleich zu den Energieinputs, geringen Erträgen, welche diese Kultur liefert. Das beste Verhältnis liefert die Sojabohne.

Tabelle 30 Verhältnis zwischen Energieinput und -output beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Energieinput (MJ)	Energieoutput (MJ)	Verhältnis zwischen Input und Output
2020	Sojabohne	11.194	118.670	1060,12 %
2016	Sonnenblume	8.968	90.206	1005,88 %
2018	Zuckerrübe	45.805	119.311	260,47 %
2020	Winterweizen	15.102	141.155	934,70 %
2020	Körnermais	22.754	233.447	1025,98 %
2020	Ölkürbis	11.495	20.915	181,95 %

5.3 Vergleich landwirtschaftlicher Betrieb Resetar mit Modellbetrieb

In folgendem Kapitel wird ein Vergleich der Energieinputs und -outputs beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar und dem Modellbetrieb gemacht. In der Tabelle 31 werden die Kulturen Winterweizen, Körnermais und Sojabohne miteinander verglichen, da beide Betriebe diese Kultur in ihrer Fruchtfolge haben. Die Zuckerrübe wurde bewusst nicht eingefügt, da bei dieser der Transportaufwand essenziell ist und die Transportwege zwischen den beiden Betrieben stark auseinander liegen.

Unterhalb sieht man das Verhältnis zwischen den Energieinputs der beiden Betriebe. Obwohl der landwirtschaftliche Betrieb Resetar einen geringeren Energieinput beim Körnermais und bei der Sojabohne hat, sind die Energieoutputs höher. Weiters zeigt der Betrieb Resetar einen deutlich höheren Energieoutput mit nur leicht höherem Energieinput.

Tabelle 31 Verhältnis des Energieinputs zwischen dem landwirtschaftlichen Betrieb Resetar und Modellbetrieb

Kultur	Energieinput (MJ/ha) Betrieb Resetar	Energieinput (MJ/ha) Modellbetrieb	Verhältnis Resetar/Modellbetrieb
Winterweizen	15.101	14.532	+ 3,92 %
Körnermais	22.754	22.956	- 0,88 %
Sojabohne	11.194	13.171	- 15,01 %
Kultur	Energieoutput (MJ/ha) Betrieb Resetar	Energieoutput (MJ/ha) Modellbetrieb	Verhältnis Resetar/Modellbetrieb
Winterweizen	141.154	111.079	+ 27,08 %
Körnermais	233.447	194.176	+ 20,23 %
Sojabohne	118.670	104.917	+ 13,11 %

Tabelle 32 stellt nochmals das Verhältnis zwischen dem Energieinput und -output innerhalb des Modellbetriebs und des Betriebs Resetar dar. Hier wird deutlich, dass das Verhältnis beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar deutlich besser ist, als beim Modellbetrieb.

Tabelle 32 Verhältnis zwischen Energieinput und -output

Kultur	Verhältnis zwischen Input und Output Modellbetrieb	Verhältnis zwischen Input und Output Betrieb Resetar
Winterweizen	764,38 %	934,70 %
Körnermais	845,85 %	1025,98 %
Sojabohne	796,56 %	1060,12 %

5.4 Möglichkeiten den Einsatz fossiler Energieträger zu verringern

Nachdem sich die ersten drei Unterkapitel der Ergebnisse primär mit den Energieinputs und -outputs beschäftigt haben, werden in folgendem Kapitel Alternativen aufgezeigt, den Einsatz fossiler Energieträger kurz- und langfristig zu verringern. Unter kurzfristigen

Alternativen sind Möglichkeiten zu verstehen, welche heute bereits realistisch sind und umgesetzt werden können. Wichtig ist ebenso, dass bei den Alternativen angenommen wird, dass diese von der Industrie angeboten werden können. Zu analysieren, ob die Industrie bereits dazu im Stande ist beispielsweise Biogas in der benötigten Menge zu produzieren, würde den Rahmen dieser Masterarbeit sprengen.

5.4.1 Dieseltreibstoff

Um den Energieinput des Treibstoffverbrauchs nachhaltiger zu gestalten, wurden in Kapitel 2.6 bereits mehrere Möglichkeiten beschrieben.

Tabelle 33 zeigt den Anteil des Energieinputs von Diesel am Gesamtenergieinput der jeweiligen Kultur beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar.

Tabelle 33 Anteil von Dieselinput am Gesamtenergieinput beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Kultur	Gesamtenergieinput (MJ/ha)	(Davon) Dieselinput (MJ/ha)	Anteil von Dieserverbrauch (%)	Jahr
Sojabohne	11.194	4.192	31,1	2020
Sonnenblume	8.968	2.423	27,0	2016
Zuckerrübe	45.805	35.572	77,7	2017
Winterweizen	15.102	3.564	23,6	2020
Körnermais	22.754	3.592	15,7	2020
Ölkürbis	11.495	4.063	35,3	2020

Tabelle 34 zeigt ein ähnliches Ergebnis wie auch Tabelle 33. Auch beim Modellbetrieb macht der Anteil des Dieserverbrauch einen großen Aspekt aus.

Tabelle 34 Anteil von Dieselinput am Gesamtenergieinput beim Modellbetrieb

Kultur	Gesamtenergieinput (MJ/ha)	(Davon) Dieselinput (MJ/ha)	Anteil von Dieserverbrauch (%)
Winterweizen	14.532	3.329	22,9
Körnermais	22.956	3.304	14,3
Sojabohne	13.171	3.058	23,2
Winterraps	14.270	2.716	19,0
Zuckerrübe	14.354	5.560	38,7
Sonnenblume	10.128	2.261	22,3

Die beiden Tabellen machen deutlich, dass der Anteil des Diesels eine entscheidende Rolle spielt und, dass durch die fossilsfreien Alternativen ein großer Teil des fossilen Energieinputs ersetzt werden kann. Wie bereits erwähnt, werden die Landmaschinenhersteller langfristig ihre Geräte nach und nach elektrifizieren, kurzfristig bietet sich jedoch die Möglichkeit, durch Biokraftstoffe die Landwirtschaft nachhaltiger zu betreiben. Dennoch muss hier auch erwähnt werden, dass, sollten in Zukunft alle Maschinen elektrifiziert sein, die

Landwirtschaft nur soweit nachhaltig sein kann, wie es der Strommix, den sie bezieht, zulässt.

5.4.2 Trocknungsaufwand

Heute wird noch ein Großteil der Trocknungsanlagen mit fossilen Energieträgern betrieben. Da Betriebe mit Silo- und Trocknungsanlagen, wie bereits in Kapitel 2.6 erwähnt, über große Dachflächen verfügen, wäre eine bereits mögliche Alternative die Trocknung mit der Energiequelle „elektrischer Strom“. Der Vorteil dieser Energiequelle wäre, dass der Strom dank Photovoltaikanlagen nachhaltig produziert werden kann. Ausgehend von einer energetischen Amortisationsdauer von 1,28 Jahren und einer Lebensdauer von 25 Jahren würde der tatsächliche Ökostromanteil nach *Quaschnig (2022)* 94,88 % betragen.

Tabelle 35 Trocknungsaufwand Modellbetrieb und landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

	Gesamt-energieinput (MJ/ha)	(Davon) Trocknungs-input (MJ/ha)	Anteil von Trocknungs-aufwand	Jahr
Betrieb Resetar				
Körnermais	22.754	7.540	33,1 %	2020
Modellbetrieb				
Körnermais	22.727	6.924	30,4 %	-

Tabelle 35 stellt den Trocknungsaufwand beim Modellbetrieb und beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar dar. Geht man nun von einem Ökostromanteil von 94,88 % aus, so könnten beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar 31,4 % bzw. beim Modellbetrieb 28,9 % des Gesamtenergieinputs für die Trocknung mit Hilfe von Photovoltaikanlagen fossilfrei gemacht werden.

5.4.3 Stickstoffdünger

Eine Möglichkeit grünen Stickstoffdünger zu produzieren wurde in Kapitel 2.6 bereits beschrieben.

Betrachtet man nun den Anteil vom Stickstoffverbrauch am Gesamtenergieinput in der Tabelle 36, sieht man auch hier, dass der Anteil stark von der Kultur abhängig ist. Bei stickstoffzerrenden Kulturen wie Winterweizen macht der Anteil fast 40 % aus, bei der Sojabohne, eine Kultur die sich selbst mit Stickstoff versorgt, macht der Anteil de facto 0 aus.

Tabelle 36 Anteil von Stickstoffinput landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

Kultur	Gesamt-energieinput (MJ/ha)	(Davon) Stickstoffinput (MJ/ha)	Anteil von Stickstoffinput	Jahr
Sojabohne	11.194	41	0,33 %	2020
Sonnenblume	8.968	2.116	23,59 %	2016
Zuckerrübe	45.805	3.932	8,58 %	2017
Winterweizen	15.102	5.989	39,66 %	2020
Körnermais	22.754	4.944	20,40 %	2020
Ölkürbis	11.495	3.174	27,61 %	2020

Selbiges gilt auch für den Stickstoffverbrauch beim Modellbetrieb in Tabelle 37. Bei diesem machen die Anteile vom Stickstoffverbrauch zwischen 16,1 % und 38,3 % aus.

Tabelle 37 Anteil von Stickstoffinput Modellbetrieb

Kultur	Gesamt-energieinput (MJ/ha)	(Davon) Stickstoffinput (MJ/ha)	Anteil von Stickstoffinput
Winterweizen	14.532	5.119	35,2 %
Körnermais	22.956	5.472	23,8 %
Sojabohne	13.171	2.118	16,1 %
Winterraps	14.270	5.472	38,3 %
Zuckerrübe	14.354	5.472	38,1 %
Sonnenblume	10.128	2.295	22,7 %

5.4.4 Verringerung der fossilen Energieträger

Summiert man nun die Einsparung der fossilen Energieträger beim Trocknungsaufwand, beim Dieselverbrauch und beim Stickstoffdünger, kommt es, je nach Kultur, zu Einsparungen von 31,41 % bis zu 86,28 % beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar und beim Modellbetrieb zu Einsparungen von 39,30 % bis zu 76,80 %. Dies wäre, gemessen am Gesamtenergieinput, eine erhebliche Einsparung fossiler Energieträger. Die meisten Einsparungen würde, sowohl beim Modellbetrieb als auch beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar, die Kultur Zuckerrübe bringen.

Tabelle 38 gibt eine Übersicht über die drei erwähnten Energieinputs.

Tabelle 38 Einsparung fossiler Energieträger

	Gesamt- energieinput (MJ/ha)	(Davon) Diesel- input (MJ/ha)	Trocknungs- aufwand (MJ/ha)	Stickstoff- input (MJ/ha)	Einsparung
Betrieb					
Resetar					
Sojabohne	12.279	4.192		41	31,43 %
Sonnenblume	8.968	2.423		2.116	50,59 %
Zuckerrübe	45.805	35.572		3.932	86,28 %
Winterweizen	15.102	3.564		5.989	63,26 %
Körnermais	22.754	3.592	7.154	4.944	67,50 %
Ölkürbis	5.370	4.063		3.174	75,70 %
Modellbetrieb					
Winterweizen	14.532	3.329		5.119	58,10 %
Körnermais	22.956	3.304	6.569	5.472	67,00 %
Sojabohne	13.171	3.058		2.118	39,30 %
Winterraps	14.270	2.716		5.472	57,30 %
Zuckerrübe	14.354	5.560		5.472	76,80 %
Sonnenblume	10.128	2.261		2.295	45,00 %

6 Schlussfolgerung

In den Ergebnissen dieser Masterarbeit zeigte sich, dass vor allem der Dieselinput, der Trocknungsaufwand und der Stickstoffinput einen großen Anteil am Gesamtenergieinput, sowohl beim Modellbetrieb als auch beim Praxisbetrieb ausmachen.

Es zeigt sich jedoch ebenso, dass die fossilen Energieträger bei allen drei Bereichen heute realistisch ersetzt werden könnten. Beim Dieselinput ist es möglich durch Biokraftstoffe wie Biodiesel oder Biogas, diesen Bereich des Energieinputs fossilfrei zu machen. Langfristig wird jedoch an der Elektrifizierung, auch im landwirtschaftlichen Sektor, kein Weg vorbeiführen, da die Batterien immer effizienter und leistungsstärker werden. Im Zuge dieser Elektrifizierung wäre es durchaus möglich, dass kabelgebundene Lösungen in Zukunft essenziell werden können, allerdings müsste dafür die landwirtschaftliche Schlaggröße steigen.

Beim Trocknungsaufwand wäre es heute bereits möglich, diesen nahezu fossilfrei zu kompensieren. Hierzu müssten die Betriebe, welche die Erntegüter trocknen, Photovoltaik-Module auf ihren Dächern installieren und damit den Strom produzieren, mit welchen beispielsweise die Wärmepumpen versorgt werden. Mit zusätzlichen Stromspeichern könnten die Betriebe außerdem völlig energieautark agieren, da mit diesen überschüssiger Strom tagsüber eingespeichert und dann auch nachts verwendet werden kann. Weiters wären die Betriebe dadurch vor Blackouts sicher.

Der Stickstoffdünger in der Landwirtschaft ist, egal in welcher Form dieser gedüngt wird, essenziell. Ein norwegisches Joint Venture namens „Hegra“ möchte diesen Rohstoff in den kommenden fünf bis sieben Jahren fossilfrei auf Basis von grünem Wasserstoff produzieren. Dadurch können große Mengen von fossilen Energieträgern eingespart und die Landwirtschaft wesentlich fossilfreier werden.

Abschließend möchte ich anmerken, dass es natürlich möglich wäre einen landwirtschaftlichen Betrieb fossilfrei zu bearbeiten, allerdings ist hier anzumerken, dass dies weder praxisorientiert noch wirtschaftlich wäre.

7 Weiterführende Arbeiten

Die Grenzen dieser Masterarbeit machten die nicht berücksichtigten Transportwege aus. Diese ebenso in den Berechnungen zu berücksichtigen, hätte den Rahmen dieser Masterarbeit gesprengt, dennoch wäre es interessant und auch wichtig in weiterführenden Arbeiten zu analysieren, von wo beispielsweise die Düngemittel bezogen werden. Aus Sicht der fossilen Emissionen macht es nämlich durchaus einen Unterschied, ob die Düngemittel in Österreich produziert und von einem österreichischen Betrieb ausgebracht werden oder ob die Düngemittel von, übertrieben ausgedrückt, China importiert werden müssen.

Die Transportwege wären, gerade in Zeiten der Globalisierung und des Klimawandels, ein interessanter Bereich für weitere wissenschaftliche Arbeiten. Langfristig wäre es durchaus möglich, dass man die weiten Transportwege überdenken und anpassen sollte.

Betrachtet man die verwendeten Energieaufwände für die Herstellung, den Unterhalt und die Entsorgung von landwirtschaftlichen Maschinen in Kapitel 4.2.7, ist anzumerken, dass sich die Daten von *Scholz (1997)* möglicherweise verändert haben könnten. Aus Gründen der Globalisierung ist es aber schwierig zu analysieren, wie hoch der Energieaufwand für die Produktion von Maschinen tatsächlich ist, da oft einzelne Bauteile einer Maschine an verschiedenen Orten weltweit gefertigt und dann zu einem zentralen Fertigungsort verschickt werden. Gerade auf diesen Bereich bezogen wäre eine neue Betrachtung der Energieaufwände interessant, da es durchaus realistisch wäre, dass sich die Daten verändert haben.

8 Zusammenfassung

Die Landwirtschaft unterlag in den letzten Jahrzehnten großen Veränderungen. Dennoch dient die Landwirtschaft seit eh und je für die Erzeugung von Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Brennstoffen und Rohstoffen. Allgemein betrachtet kann dennoch gesagt werden, dass der Energieverbrauch in der Landwirtschaft pro Hektar Ackerfläche gestiegen ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zuerst die direkten und indirekten Energieträger beschrieben und im nächsten Schritt Systemgrenzen festgelegt. Die Informationen über die Energieinputs wurden daraufhin vom landwirtschaftlichen Betrieb Resetar gesammelt, aufgelistet und in MJ/ha umgerechnet. Diese Informationen stammen vom Zeitraum von 2015 bis 2020. Im nächsten Schritt wurde ein Modellbetrieb, basierend auf verschiedenen Literaturquellen, aufgestellt und dieselben Berechnungen gemacht wie beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar. Die Informationen über die Energieträger stammen beim Modellbetrieb von verschiedenen Literaturquellen, teilweise wurden auch Informationen vom Betrieb Resetar übernommen, wenn keine Literaturquellen vorhanden waren.

Diese Masterarbeit zeigt auf, dass bei einem landwirtschaftlichen Ackerbaubetrieb in Österreich und bei einem aufgestellten Modellbetrieb die Energieinputs zwischen 8.968 und 45.805 MJ/ha bzw. 10.128 und 22.956 MJ/ha ausmachen. Vergleicht man den Energieinput mit dem -output fallen alle Verhältnisse deutlich positiv aus. Beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar machen die Verhältnisse zwischen 260,47 % und 1060,12 % aus, beim Modellbetrieb zwischen 764,38 % und 967,93 %.

Betrachtet man nun die einzelnen Kategorien gesondert, dann zeigt die Masterarbeit bei der Kultur Zuckerrübe deutlich wie entscheidend das Gewicht der Kultur bei den Energieinputs für den Transportaufwand ist. Beim Modellbetrieb wurden dazu drei Szenarien berechnet: Einmal wurde ein Transportweg von 5,54 km angenommen, einmal 50 km und einmal 150 km. Der Anteil des Transportaufwands lag bei 5,54 km bei 10,03 %, bei 50 km bei 50,16 % und bei 150 km bei 75,12 % des Gesamtenergieinputs.

Ein weiterer, wichtiger Aspekt ist der Dieserverbrauch bei den verschiedenen Arbeitsschritten. Berechnet man den durchschnittlichen Anteil des Dieserverbrauchs beim Modellbetrieb und landwirtschaftlichen Betrieb Resetar ergibt dies 29,23 %. Damit ist der Energieinput von Diesel mit fast einem Drittel des Gesamtenergieinputs ein essenzieller Faktor bei den Berechnungen.

Zusammenfassend wird in Kapitel 5.4.4 deutlich, dass beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar Einsparungen von fossilen Energieträgern zwischen 31,43 % und 86,28 %, je nach Kultur, möglich sind. Beim Modellbetrieb ergeben die Berechnungen ein Einsparungspotential von 39,30 % bis 76,80 %.

Literaturverzeichnis

- AgrarMarkt Austria (2015a): Herbstenerhebung 2015, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2016a): Herbstenerhebung 2016, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2017a): Herbstenerhebung 2017, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2018a): Herbstenerhebung 2018, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2019a): Herbstenerhebung 2019, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2020a): Herbstenerhebung 2020, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2015b): Sommerenerhebung 2015, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2016b): Sommerenerhebung 2016, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2017b): Sommerenerhebung 2017, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2018b): Sommerenerhebung 2018, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2019b): Sommerenerhebung 2019, Wien.
- AgrarMarkt Austria (2020b): Sommerenerhebung 2020, Wien.
- Agrocleantech, Verein (2017): Indirekte Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft, Bern.
- Aker Clean Hydrogen (2022): Projects, [online] <https://akercleanhydrogen.com/projects/> [31.01.2022].
- Alig, M.; Prechsl, U.; Schwitter, K.; Waldvogel, T.; Wolff, V.; Wunderlich, A.; Zorn, A.; Gaillard, G. (2015): Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutzmassnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz, Zürich: Agroscope.
- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (2020): Sauber durch AdBlue: So filtern SCR - Systeme giftige Autoabgase, [online] <https://www.adac.de/verkehr/abgas-diesel-fahrverbote/dieselkauf/funktion-scr-system-adblue/> [01.02.2022].
- Amazone Werke H.Dreyer GmbH & Co. KG (2021): Düngestreuer ZA-X Perfect, [online] <https://amazone.net/de/produkte-digitale-loesungen/landtechnik/duengetechnik/anbaustreuer/anbaustreuer-za-x-perfect-2538> [03.04.2021].
- Anderl, M.; Geiger, K.; Gugele, B.; Gössl, M.; Haider, S.; Heller, C.; Köther, T.; Krutzler,

T.; Kuschel, V.; Lampert, C.; Neier, H.; Pazdernik, K.; Perl, D.; Poupa, S.; Purzner, M.; Rigler, E.; Schieder, W.; Schmid, G.; Schodl, B.; Storch, A.; Stranner, G.; Vogel, J.; Wiesenberger, H.; Zechmeister, A. (2020): Klimaschutzbericht 2020, Wien: Umweltbundesamt GmbH.

Auernhammer, H.; Demmel, M.; Rottmeier, J.; Muhr, T. (1991): Future Developments for Fertilizing in Germany, ASAE Paper No. 911040.

Aufhammer, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfurchtarten - Bedeutung, Nutzung und Anbau, Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

Badger, P. C.; Clark, R. N.; Esper, A.; Hashimoto, Y.; Hernanz, J. L.; Jenkins, B. M.; Jungbluth, T.; Karaki, I.; Kitani, O.; Legge, R. L.; Maekawa, T.; Magdoff, F. R.; Michelozzi, M.; Muehlbauer, W.; Nishina, H.; Ortiz-Canavate, J.; Peart, R. M.; Roy, K.; Riva, G.; Saiki, T.; Schnitzer, V.; Schumm, G.; Scott, D.; Sissot, F.; Vidrich, V. (Hrsg.) (1999): CIGR Handbook of Agricultural Engineering, St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

Baeumer, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau, Stuttgart: Ulmer.

Biedermann, G. (2009): Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Weizenproduktion bei verschiedenen Produktionssystemen (konventionell und ökologisch) und verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (Pflug, Mulchsaat, Direktsaat), Wien: Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur.

Böttinger, S. (2008): Entwicklung der Energieeffizienz bei Landmaschinen, in: Energieeffiziente Landwirtschaft KTBL-Schrift 463, Darmstadt S. 32–35.

BP (2018): Statistical review of world energy 2017, [online] <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf> [29.01.2021].

Brechner, E.; Dinkelaker, B.; Dreesmann, D. (2021): natürliche Ökosysteme, [online] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/natuerliche-oekosysteme/8036> [01.02.2022].

Breitkopf, A. (2020a): Länder mit dem höchsten Energieverbrauch weltweit 2019, [online] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12887/umfrage/primaerenergieverbrauch-ausgewaehlter-nationen/> [21.05.2021].

Breitkopf, A. (2020b): Weltweiter Primärenergieverbrauch bis 2019, [online] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/42226/umfrage/welt-insgesamt---verbrauch->

an-primärenergie-in-millionen-tonnen-oelaequivalent/ [29.01.2021].

Brenttrup, F.; Hoxha, A.; Christensen, B. (2016): Carbon footprint analysis of mineral fertilizer production in Europe and other world regions, in: Conference Paper, The 10th International Conference on Life Cycle Assessment of Food (LCA Food 2016).

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2019): Biologischer Pflanzenschutz, [online] <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/biologischer-pflanzenschutz/> [01.02.2022].

Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2021): Landwirtschaft gestern und heute, [online] <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/landwirtschaft-gestern-und-heute> [22.11.2021].

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2020): Grüner Bericht 2020, Wien: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Grüner Bericht 2019, Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Crastan, V. (2016): Weltweite Energiewirtschaft und Klimaschutz, 2. Auflage Heidelberg: Springer Verlag.

Dahinden, M.; Paschke, M. (2018): Wie kann gesellschaftliche Akzeptanz für neue Technologien entstehen?, in: Neue Technologien in der Pflanzenforschung—eine Alternative zu Pflanzenschutzmitteln? Tagungsband zur Fachtagung Dialog Grün, Jg. 32, S. 9.

Daniel-Gromke, J.; Rensberg, N.; Denysenko, V.; Trommler, M.; Reinholz, T.; Völler, K.; Beil, M.; Beyrich, W. (2017): Anlagenbestand Biogas und Biomethan—Biogaserzeugung und-nutzung in Deutschland, in: DBFZ report, Nr. 30.

Darge, E. (2002): Energieinhalte (Brennwerte) von ldw. Produkten und sonstigen energetisch relevanten Daten. In Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950 – 1995, Eine humanökologische Untersuchung, Wien.

Deike, S.; Pallutt, B.; Christen, O. (2010): Untersuchungen zur energieeffizienz im integrierten und Ökologischen Landbau am Beispiel eines Langzeitversuches auf einem Lehmgigen Sandboden, in: Journal für Kulturpflanzen, Jg. 62, Nr. 7, S. 259–263, doi: 10.5073/JfK.2010.06.01.

Deutsche Vertretung in China (2020): Basisinformationen zur chinesischen Landwirtschaft, [online] <https://china.diplo.de/cn-de/themen/wirtschaft/landwirtschaft->

basisinformationen [02.02.2021].

ecoinvent Centre (2010): ecoinvent Data - The Life Cycle Inventory Data V2.2, Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Einböck GmbH (2021a): Hackgerät CHOPSTAR 3-60, [online]
<https://www.einboeck.at/produkte/ackerkulturpflege/hackgeraet/chopstar3-60>
[03.04.2021].

Einböck GmbH (2021b): Reihensäugerät CHOPSTAR-SEEDER, [online]
<https://www.einboeck.at/impressum> [03.04.2021].

Eitzinger, J. (2010): Der Klimawandel–seine Auswirkungen auf agrarmeteorologische Aspekte und Anpassungsoptionen für die Landwirtschaft im europäischen Kontext, in: Ländlicher Raum, Jg. 3, S. 1–11.

Felber, R.; Leifeld, J.; Horák, J.; Neftel, A. (2014): Nitrous oxide emission reduction with greenwaste biochar: Comparison of laboratory and field experiments, in: European Journal of Soil Science, Jg. 65, Nr. 1, S. 128–138.

Fischer, K. (2021): New Holland: T6-Methangas-Traktor fährt CO2 neutral, agrarheute, [online] <https://www.agrarheute.com/technik/traktoren/new-holland-t6-methangas-traktor-faehrt-co2-neutral-584588> [10.01.2022].

Foldal, C. B.; Kasper, M.; Ecker, E.; Zechmeister-Boltenstern, S. (2019): Evaluierung verschiedener ÖPUL Maßnahmen in Hinblick auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen, insbesondere Lachgas, Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Frondel, M.; Peters, J. (2005): Biodiesel: Nicht nur eitel Sonnenschein, Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung.

Gerstl, M. (2021): Mechanische Alternativen im Pflanzenschutz bei Sommerkulturen, [online] <https://www.lko.at/mechanische-alternativen-im-pflanzenschutz-bei-sommerkulturen+2400+3413481> [01.02.2022].

Google Ireland Limited (2021): Schachendorf, [online]
<https://www.google.at/maps/place/7472+Schachendorf/@47.2642764,16.4164605,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x476e958dc8462b6d:0x9ccf54a7b9c818d1!8m2!3d47.2632601!4d16.4338> [02.01.2021].

Harmsen, S. (2021): Norwegisches Joint Venture zur Herstellung von „grünem“ Ammoniak gegründet, E & M Marktplatz Energie, [online] <https://www.energie-und->

management.de/marktplatz-energie/news/detail?emid=144350 [10.01.2022].

Hellebrand, H. J.; Munack, A. (1995): Minderungsmöglichkeiten klimarelevanter Emissionen aus der Landwirtschaft - Chances of Reducing Emissions of Greenhouse Gases by Agriculture, in: Agrartechnische Forschung, Jg. 1, S. 109–119.

Hülsbergen, K.-J.; Küstermann, B. (2007): Ökologischer Landbau - Beitrag zum Klimaschutz, in: Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern, Jg. 3, S. 9–21.

Hülsbergen, K.-J (2008): Energieeffizienz ökologischer und integrierter Anbausysteme, in: Energieeffiziente Landwirtschaft KTBL-Schrift 463, Darmstadt S. 87–99.

Hülsbergen, K.-J (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Aachen: Shaker Verlag.

Hunt, N. D.; Liebman, M.; Thakrar, S. K.; Hill, J. D. (2020): Fossil Energy Use, Climate Change Impacts, and Air Quality-Related Human Health Damages of Conventional and Diversified Cropping Systems in Iowa, USA, in: Environmental Science and Technology, Jg. 54, Nr. 18, S. 11002–11014.

Industrieverband Agrar e. V. (2019): Kalium - Baustein für eine nachhaltige Ertragsbildung, Frankfurt am Main.

International Energy Agency (2020): Data and Statistics, [online] [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=CoalProdByType](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=CoalProdByType) [29.01.2021].

Kelc, D.; Stajniko, D.; Berk, P.; Rakun, J.; Vindiš, P.; Lakota, M. (2019): Reduction of environmental pollution by using RTK-navigation in soil cultivation, in: International Journal of Agricultural and Biological Engineering, Jg. 12, Nr. 5, S. 173–178, doi: 10.25165/ij.ijabe.20191205.4932.

Koester, U.; von Cramon-Taubadel, S. (2019): Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft und Agrarpreise, Discussion Paper, Halle (Saale).

Köpke, U.; Rauber, R.; Schmidtke, K. (2016): Optimierung der Unkrautregulation, Schwefel- und Phosphorverfügbarkeit durch Unterfußdüngung bei temporärer Direktsaat von Ackerbohne und Sojabohne, Bonn: Rheinische-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Kral, I.; Mauch, M.; Barta, N.; Piringner, G.; Bauer, A.; Bauerdick, J.; Bernhardt, H.; Gronauer, A. (2017): Effizienzvergleich von automatischen Lenksystemen mit manueller Lenkung während der Grünlandernte auf Basis von Prozessparametern der Zugmaschine,

in: A. Ruckelshause, A. Meyer-Aurich, W. Lentz, u. a. (Hrsg.), Informatik in der Land-, Forst-und Ernährungswirtschaft 2017, Bonn: Gesellschaft für Informatik eV S. 81–84.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V (2020): KTBL-Feldarbeitsrechner, [online] <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html#0> [15.12.2020].

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V (2020): Feldarbeitsrechner, [online] <https://www.ktbl.de/webanwendungen/feldarbeitsrechner> [15.12.2020].

Landwirtschaftskammer Niederösterreich; Landwirtschaftskammer Oberösterreich (2021): Feldbauratgeber - Frühjahrsanbau 2021, St. Pölten: LFI Niederösterreich.

Landwirtschaftskammer Niederösterreich; Landwirtschaftskammer Oberösterreich (2020): Feldbauratgeber - Herbstanbau 2020, St. Pölten: LFI Niederösterreich.

Landwirtschaftskammer Oberösterreich (2015): LK-Düngerrechner - ein kostenloses EDV-Programm der Landwirtschaftskammern, [online] <https://ooe.lko.at/lk-duengerrechner-ein-kostenloses-edv-programm-der-landwirtschaftskammern+2500+1652577> [01.06.2021].

Landwirtschaftskammer Österreich (2021): Pflanzenbauliche Versuche, [online] <https://www.lko.at/pflanzenbauliche-versuchsberichte+2500+++7801> [01.06.2021].

Latsch, A.; Anken, T.; Hasselmann, F. (2013): Energieverbrauch der Schweizer Landwirtschaft - Graue Energie schlägt zunehmend zu Buche, in: Agrarforschung Schweiz, S. 244–247.

Lehmann, J.; Joseph, S. (2009): Biochar for Environmental Management: Science and Technology, London: Earthscan.

Limagrain GmbH (2020): Mais Saatgut Produktion, [online] <https://www.lgseeds.de/mediathek/eintrag/film-mais-saatgut-produktion/> [16.12.2020].

Lippelt, J.; Sindram, M. (2011): Kurz zum Klima: Weltweiter Energieverbrauch, in: ifo Schnelldienst, Jg. 64, Nr. 01, S. 52–54.

Lödl, M.; Kerber, G.; Witzmann, R.; Hoffmann, C.; Metzger, M. (2010): Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland, Graz.

Loibnegger, T. (2021): Photovoltaik in der Landwirtschaft, Graz [online] <http://www.e-landwirtschaft.at/photovoltaik-in-der-landwirtschaft/> [01.02.2022].

Mal, P.; Hesse, J. W.; Schmitz, M.; Garvert, H. (2015): Konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland als Lösungsbeitrag gegen Bodenerosion, in: Journal für Kulturpflanzen,

Jg. 67, Nr. 9, S. 310–319, doi: 10.5073/J.

Marshall, S.; Spreu, A.; Reckleben, Y. (2020): Steigerung der Energieeffizienz von Getreideanlagen durch nachhaltige Prozessoptimierung bei Trocknung und Lagerung, Kiel.

Marutzky, R. (2004): Biomassen auf Basis von Holz als Brennstoffe in Österreich, der Schweiz und Deutschland, Braunschweig.

Moitzi, G. (2012): LV Technik in der ÖLW, Wien: Vorlesungsunterlagen an BOKU.

Moitzi, G.; Heine, K.; Refenner, J.; Paar, J.; Boxberger, J. (2007): Automatisches Lenksystem im Einsatz auf kleinen Flächen - Untersuchungen zum Arbeitszeit- und Kraftstoffaufwand sowie zur Systemgenauigkeit, Wien.

Noleppa, S.; von Witzke, H. (2013): Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland, Frankfurt am Main, Germany: Industrieverband Agrar eV, Frankfurt am Main.

Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (2021): Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft, Wien.

Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (o. J.): Richtwerte online, [online] <https://oekl.at/richtwerte-online/> [07.01.2022].

PCC Group (2021): Chemische Pflanzenschutzmittel - Klassifizierung, [online] <https://www.products.pcc.eu/de/blog/chemische-pflanzenschutzmittel-klassifizierung/> [01.02.2022].

Petig, E.; Rudi, A.; Angenendt, E.; Schultmann, F.; Bahrs, E. (2017): Modellbasierte Standortoptimierung von Konversionsanlagen für landwirtschaftliche Biomasse in Baden-Württemberg am Beispiel der Strohverbrennung.

Pickel, P. (2020): Ackerbauliche Elektromobilität - mobile Maschinen am Netz, in: Mit Energie in die Zukunft, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. S. 50–58.

Pommerening, G. (1974): Der Wandel in der Beschäftigtenstruktur: Ein internationaler Vergleich, in: Wirtschaftsdienst, Jg. 54, Nr. 2, S. 91–95.

Pöttinger Landtechnik GmbH (2020a): SERVO 25 leichte Anbaudrehpflüge, bis 120 PS, [online] https://www.poettinger.at/de_at/produkte/detail/se25/servo-25-leichte-anbaudrehpfluege-bis-120-ps [03.04.2021].

Pöttinger Landtechnik GmbH (2020b): SYNKRO 2-balkige Anbau-Grubber, [online] https://www.poettinger.at/de_at/produkte/detail/syn2/synkro-2-balkige-anbau-grubber [03.04.2021].

Pöttinger Landtechnik GmbH (2020c): TERRADISC starre Anbau Kurzscheibenegge, [online] https://www.poettinger.at/de_at/produkte/detail/disc/terradsic-starre-anbau-kurzscheibeneggen [03.04.2021].

Quaschnig, V. (2022): Energieaufwand zur Herstellung von Photovoltaikanlagen, [online] <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/kev/index.php> [10.01.2022].

Ramharter, R. (1999): Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum, Wien: Dissertation. Universität für Bodenkultur.

Reckleben, Y.; Trefflich, S.; Thomsen, H. (2013): Auswirkung der Abgasnormen auf den Kraftstoffverbrauch von Traktoren im praktischen Einsatz, in: LANDTECHNIK–Agricultural Engineering, Jg. 68, Nr. 5, S. 322–326.

Reinsaat KG (2020): Saatgutaufbereitung, [online] <https://www.reinsaat.at/index.php?id=58> [16.12.2020].

Remmele, E.; Eckel, H. (2020): Biodiesel, Rapsöl und Methan als Kraftstoff für Traktoren, in: Mit Energie in die Zukunft, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. S. 42–46.

Rödger, J. M.; Ganagin, W.; Krieg, A.; Roth, C.; Loewen, A. (2014): Steigerung des Biogasertrages durch die Zugabe von Pflanzenkohle, in: Müll und Abfall, Jg. 9, S. 476–482.

Rokicki, T.; Perkowska, A.; Klepacki, B.; Bórawski, P.; Bełdycka-Bórawska, A.; Michalski, K. (2021): Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries, in: Energies, Jg. 14, Nr. 6.

Rossrucker, H. (1977): Die Kosten der Trocknung von Körnermais: ihre Berechnung und Problematik, Wien: Österreichisches Kuratorium für Landtechnik (Landtechnische Schriftenreihe: 33).

Sandgruber, R. (2002): Die Landwirtschaft in der Wirtschaft – Menschen, Maschinen, Märkte, in: Geschichte der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im 20. Jahrhundert. Politik, Gesellschaft, Wirtschaft, Wien: Ueberreuter.

Sauermost, R.; Freudig, D. (2021): Humus, [online]

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/humus/32850> [01.02.2022].

Schmitz, B. (2017): Digitale Landwirtschaft aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers, in: Ackerbau - technische Lösungen für die Zukunft, Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) doi: 10.1365/s35144-014-0633-z.

Scholz, V. (1997): Methodik zur Ermittlung des Energieaufwandes pflanzenbaulicher Produkte am Beispiel von Biofestbrennstoffen Method of Calculating the Energy Demand of Agricultural Products- Solid Biofuels as an Example, in: Agrartechnische Forschung, Jg. 3, S. 11–18.

Schütz, L.; Lettow, N.; Dachbrodt-Saaydeh, S. (2020): Vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen im Ackerbau und ihre Eignung zur Förderung von Arthropoden, in: Journal für Kulturpflanzen, Jg. 72, Nr. 12, S. 545–560.

Sinaj, S.; Charles, R.; Baux, A.; Dupuis, B.; Hiltbrunner, J.; Levy, L.; Pellet, D.; Blanchet, G.; Jeangros, B. (2017): Düngung von Ackerkulturen, in: Agrarforschung Schweiz, Jg. 8, Nr. 6, S. 1–46.

Strehler, A.; Landtechnik Weihenstephan (1996): Trocknung von Getreide, Körnermais und Raps im landwirtschaftlichen Betrieb, Frankfurt am Main.

Thiel, L.; Haberlah-Korr, V.; Mergenthaler, M.; Gerowitt, B. (2019): „Ich würde wohl das meiste Geld mit Spaziergängen über den Acker verdienen“ –Die Sicht von Betriebsleitenden zum Einsatz von Insektiziden im integrierten Pflanzenschutz, in: Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft,.

Thünauer, G. (2013): Energieaufwand und Energieeffizienz von konventionellen und biologischen Fruchtfolgen in der Südsteiermark im Wasserschongebiet, Wien.

Umweltbundesamt (2022): Kraftwerke: konventionelle und erneuerbare Energieträger, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraftwerke-konventionelle-erneuerbare#kraftwerkstandorte-in-deutschland> [01.02.2022].

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (2012): Kumulierter Energieaufwand (KEA) : Begriffe, Berechnungsmethoden = Cumulative energy demand (KEA), Berlin: Beuth.

VDI-Gesellschaft Energietechnik (1993): Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen - Ihre Bedeutung für Ökobilanzen, Düsseldorf: VDI Verlag.

Werschnitzky, U.; Prothmann, G.; Sergeois, C. (1987): Direkter Energieeinsatz im agrarischen Erzeugerbereich in der BRD, in: Energie und Agrarwirtschaft KTBL-Schrift 320, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag S. 13–49.

von Witzke, H.; Noleppa, S. (2013): Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland, Frankfurt am Main.

Woolf, D.; Amonette, J. E.; Street-Perrott, F. A.; Lehmann, J.; Joseph, S. (2010): Sustainable biochar to mitigate global climate change, in: Nature Communications, S. 56.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2021): Messdaten für Standort Rechnitz, Wien.

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
etc.	et cetera
ha	Hektar
K	Kalium
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEA _E	Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung
KEA _H	Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung
KEA _N	Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung
KEV	Kumulierter Energieverbrauch
kg	Kilogramm
KNA	Kumulierter nicht energetischer Aufwand
l	Liter
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
N ₂ O	Lachgas
NEV	Nicht energetisch eingesetzte Energieträger
PSM	Pflanzenschutzmittel
RTK	Real Time Kinematic

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Treibhausgasemissionen nach Sektoren 2018 (Anderl et. al. 2020)	7
Abbildung 2 Minderungspotentiale von CO ₂ -Emissionen in Mt/a (Hellebrand und Munack 1995)	14
Abbildung 3 Standort des Betriebs Resetar (Google Ireland Limited 2021).....	31
Abbildung 4 Energieinput bei Transport von Zuckerrüben beim Modellbetrieb	43
Abbildung 5 Dieserverbrauch in MJ/ha bei der Saatbeetbereitung	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Energieaufwand für die Herstellung von PSM (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Moitzi 2012)	9
Tabelle 2 Kumulierter Energieaufwand für Herstellung (KEA_H), Unterhalt (KEA_U) und Entsorgung (KEA_E) von landwirtschaftlichen Maschinen (Scholz 1997)	10
Tabelle 3 Energieaufwand für die Produktion von Mineraldünger (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Hülsbergen 2003, 2008; Scholz 1997).....	11
Tabelle 4 Energieäquivalente für den Energieaufwand in MJ/l bzw. MJ/kWh (Badger et. al. 1999; Darge 2002; Deike et. al. 2010; Hülsbergen 2008; Moitzi 2012).....	12
Tabelle 5 Energieaufwand für die Herstellung von PSM	24
Tabelle 6 Energieaufwand für die Produktion und Aufbereitung von Saatgut	24
Tabelle 7 Energieaufwand für die Produktion von Mineraldünger	25
Tabelle 8 Trocknungsaufwand von Nassmais (Badger et. al. 1999; Rossrucker 1977)	26
Tabelle 9 Energieaufwand für Herstellung (KEA_H), Unterhalt (KEA_U) und Entsorgung (KEA_E) von landwirtschaftlichen Maschinen (Scholz 1997)	27
Tabelle 10 Energieoutput der Kulturen.....	27
Tabelle 11 Pflanzenschutzmittelverbrauch beim Modellbetrieb	34
Tabelle 12 Saatgutverbrauch beim Modellbetrieb	35
Tabelle 13 Düngemittelverbrauch beim Modellbetrieb.....	35
Tabelle 14 Szenario größtmögliche Mechanisierung Modellbetrieb (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2020 ¹ ; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021 ²).....	37
Tabelle 15 Szenario kleinstmögliche Mechanisierung Modellbetrieb (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2020 ¹ ; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021 ²).....	40
Tabelle 16 Energieinput durch Transport beim Modellbetrieb bei einem Transportweg von 5,54 km.....	43
Tabelle 17 Energieinput durch Maschinenproduktion beim Modellbetrieb	45
Tabelle 18 Erntemengen Modellbetrieb	46
Tabelle 19 Berechnungen Energieinput und -output für Winterweizen Modellbetrieb	46
Tabelle 20 Verhältnis zwischen Energieinput und -output Modellbetrieb	47
Tabelle 21 Energieinput durch Pflanzenschutzmittel beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	48
Tabelle 22 Energieinput durch Saatgut beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	49
Tabelle 23 Energieinput durch Düngemittel beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar....	50

Tabelle 24 Energieinput bemessen am Dieserverbrauch beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	52
Tabelle 25 Energieinput durch Transport beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	54
Tabelle 26 Energieinput durch Trocknung beim Körnermais des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar	54
Tabelle 27 Energieinput durch Maschinenproduktion beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	56
Tabelle 28 Ertrag und Energieoutput beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar.....	57
Tabelle 29 Berechnung der Energieinputs und -outputs für Winterweizen im Jahr 2020 ..	58
Tabelle 30 Verhältnis zwischen Energieinput und -output beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	58
Tabelle 31 Verhältnis des Energieinputs zwischen dem landwirtschaftlichen Betrieb Resetar und Modellbetrieb	59
Tabelle 32 Verhältnis zwischen Energieinput und -output	59
Tabelle 33 Anteil von Dieselinput am Gesamtenergieinput beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar	60
Tabelle 34 Anteil von Dieselinput am Gesamtenergieinput beim Modellbetrieb.....	60
Tabelle 35 Trocknungsaufwand Modellbetrieb und landwirtschaftlicher Betrieb Resetar..	61
Tabelle 36 Anteil von Stickstoffinput landwirtschaftlicher Betrieb Resetar	62
Tabelle 37 Anteil von Stickstoffinput Modellbetrieb	62
Tabelle 38 Einsparung fossiler Energieträger	63

Anhang:

Klimadaten landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

Die Klimadaten wurden von der ZAMG bereitgestellt. Die ZAMG ist die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien. Es wurden die Daten der Wetterstation Rechnitz genommen, diese liegt jedoch nahe des Standortes des Betriebs (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021). Die Daten wurden aufbereitet und in den Abbildungen nach eigenen Anforderungen dargestellt.

Klimadaten 2018

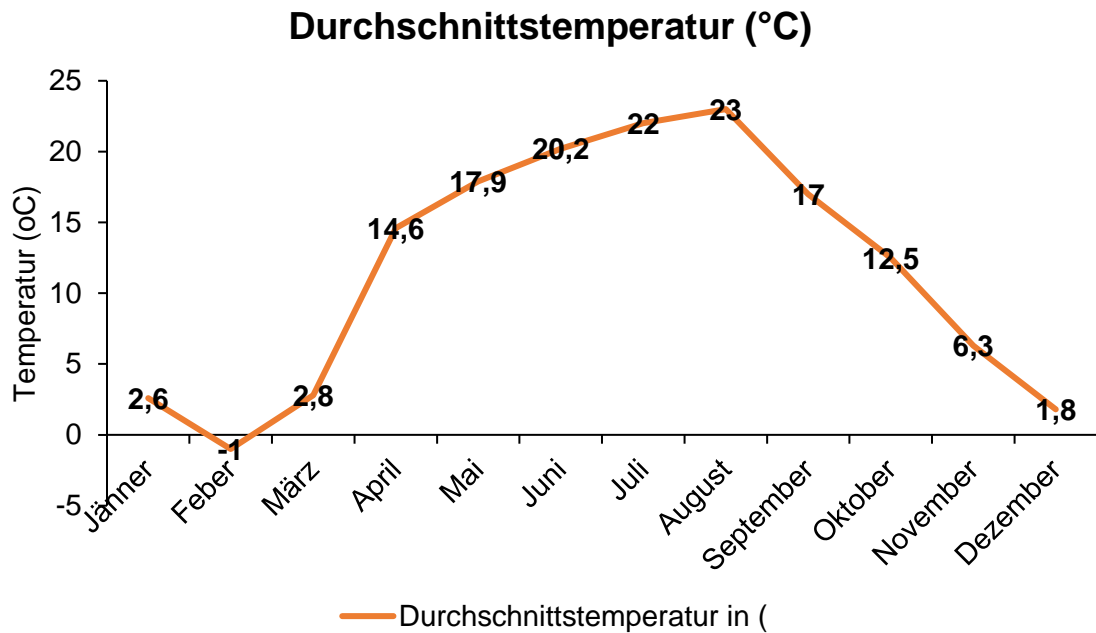


Abbildung 6 Durchschnittstemperatur Rechnitz 2018 (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021)

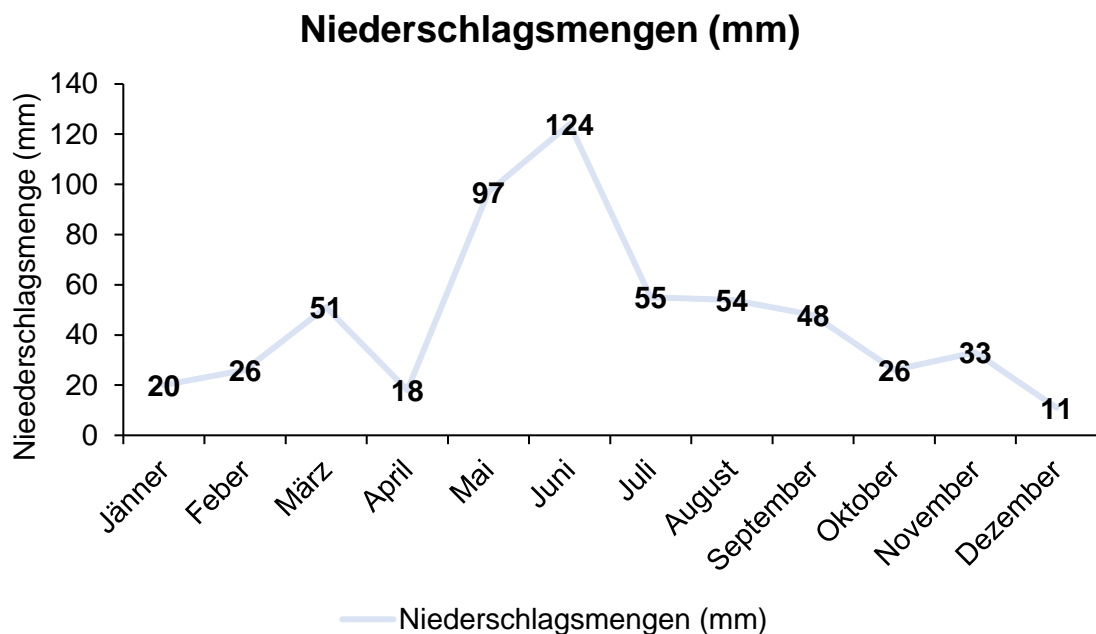


Abbildung 7 Niederschlagsmengen Rechnitz 2018 (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021)

Klimadaten 2019

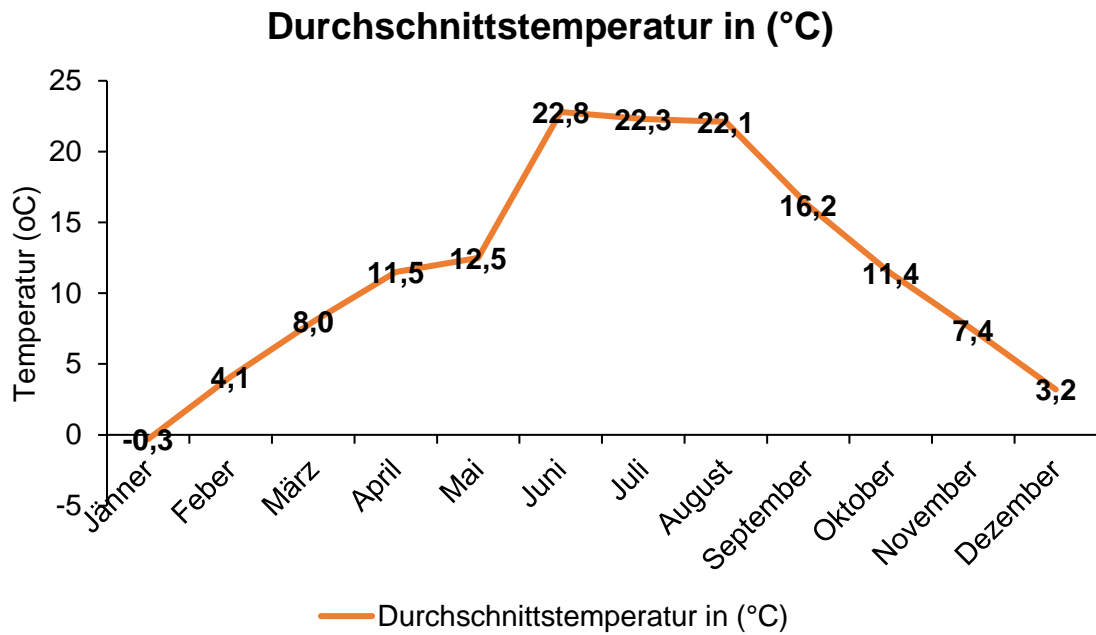


Abbildung 8 Durchschnittstemperatur Rechnitz 2019 (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021)

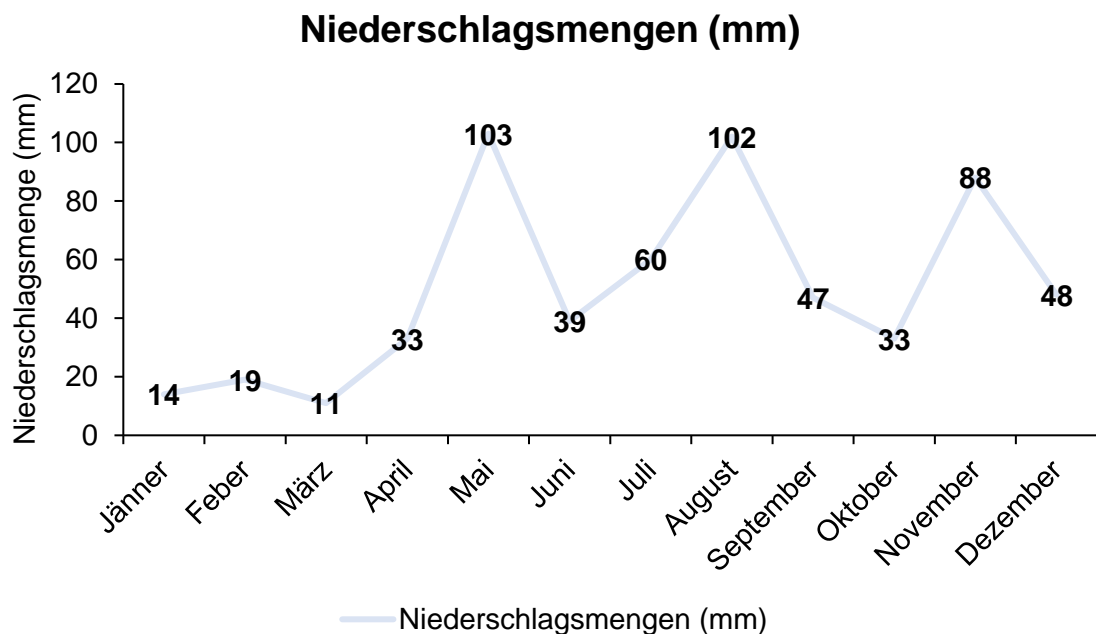


Abbildung 9 Niederschlagsmengen Rechnitz 2019 (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021)

Klimadaten 2020

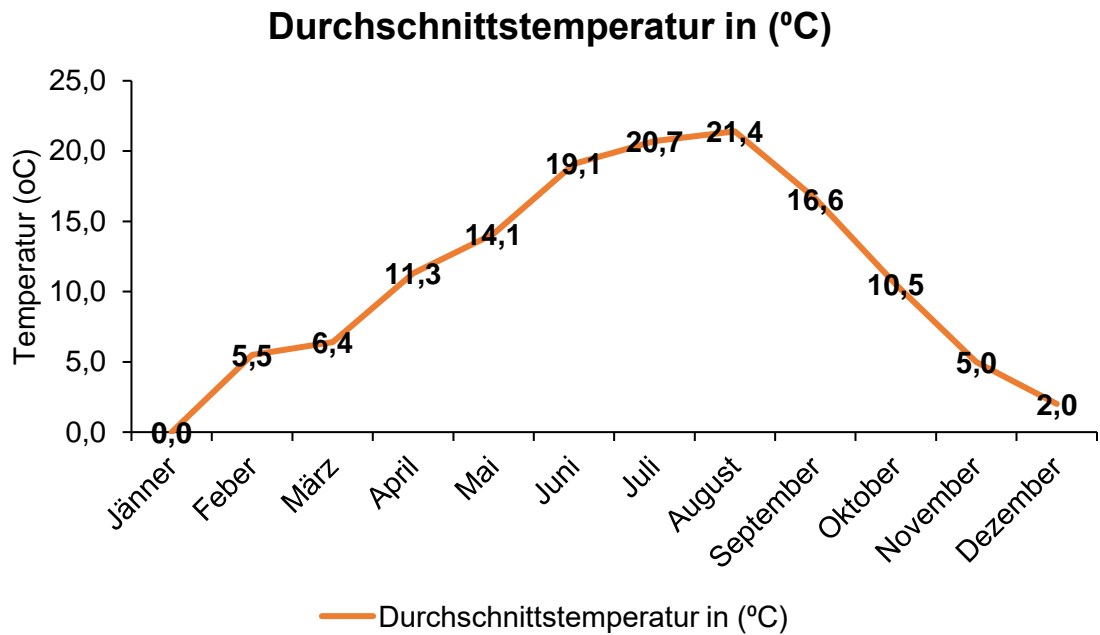


Abbildung 10 Durchschnittstemperatur Rechnitz 2020 (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021)

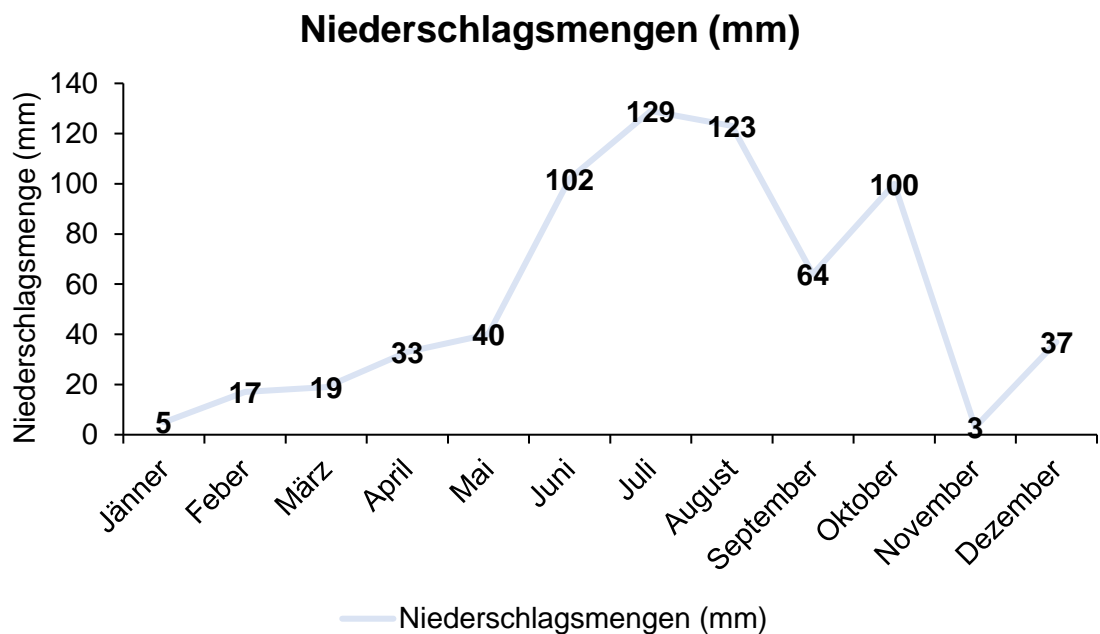


Abbildung 11 Niederschlagsmengen Rechnitz 2020 (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 2021)

Ungerundete Tabellen:

In diesem Anhang sind die Tabellen dargestellt ohne dem Auf- bzw. Abrunden. Die Tabellenbezeichnung in Klammer beschreibt die Bezeichnung im Text, diese ist angegeben um die Tabelle besser im Text zu finden.

(Tabelle 1) Energieaufwand für die Herstellung von PSM, nicht gerundet (Badger et. al. 1999; Deike et. al. 2010; Moitzi 2012)

	Badger et. al	Deike et. al.	Moitzi	Einheit
Fungizide	168,0	196,0	177,0	MJ/kg
Insektizide	296,2	237,0	296,0	MJ/kg
Herbizide	290,9	288,0	259,0	MJ/kg

(Tabelle 11) Energieinput durch Pflanzenschutzmittel beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Fungizide (MJ/ha)	Insektizide (MJ/ha)	Herbizide (MJ/ha)
2015	Sojabohne	-	-	665,63
	Sonnenblume	-	-	1.657,60
	Zuckerrübe	106,20	296,00	2.149,70
	Winterweizen	299,13	74,00	64,75
	Körnermais	-	-	875,42
2016	Sojabohne	-	-	779,59
	Sonnenblume	-	-	1.709,40
	Zuckerrübe	283,20	296,00	2.460,50
	Winterweizen	309,75	82,88	64,75
	Körnermais	-	-	888,37
2017	Sojabohne	-	-	890,96
	Zuckerrübe	637,20	296,00	1.851,85
	Winterweizen	196,47	17,76	155,40
	Körnermais	-	-	808,08
2018	Sojabohne	-	-	595,70
	Winterweizen	318,60	32,56	38,85
	Körnermais	-	-	950,53
2019	Sojabohne	-	-	841,75
	Winterweizen	240,72	29,60	38,85
	Körnermais	-	-	1036,00
	Ölkürbis	-	-	518,00
2020	Sojabohne	-	-	859,88
	Winterweizen	113,28	11,84	732,97
	Körnermais	-	-	1036,00
	Ölkürbis	-	-	518,00

(Tabelle 12) Energieinput durch Saatgut beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Saatgut (MJ/ha)
2015	Sojabohne	5.732,74
	Sonnenblume	107,40
	Zuckerrübe	167,40
	Winterweizen	2.591,29
	Körnermais	2.572,00
2016	Sojabohne	5.784,08
	Sonnenblume	119,60
	Zuckerrübe	167,40
	Winterweizen	2.468,83
	Körnermais	2.511,00
2017	Sojabohne	5.436,26
	Zuckerrübe	167,40
	Winterweizen	2.276,30
	Körnermais	2.468,00
2018	Sojabohne	5.558,66
	Winterweizen	2.270,06
	Körnermais	2.551,00
2019	Sojabohne	5.379,82
	Winterweizen	2.466,49
	Körnermais	2.623,00
	Ölkürbis	1.360,00
2020	Sojabohne	4.560,08
	Winterweizen	2.199,86
	Körnermais	2.573,00
	Ölkürbis	1.360,00

(Tabelle 13) Energieinput durch Düngemittel beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Stickstoff (MJ/ha)	Phosphor (MJ/ha)	Kalium (MJ/ha)
2015	Sojabohne	-	770,41	112,14
	Sonnenblume	2.107,06	953,85	399,71
	Zuckerrübe	4.567,76	1.339,52	703,75
	Winterweizen	5.117,79	860,47	165,65
	Körnermais	5.330,65	1.328,78	335,62
2016	Sojabohne	-	827,45	140,72
	Sonnenblume	2.115,88	1.011,52	281,99
	Zuckerrübe	4.441,80	1.312,19	597,51
	Winterweizen	4.968,83	800,11	199,69
	Körnermais	5.179,92	1.245,46	307,71
2017	Sojabohne	528,44	236,53	31,44
	Zuckerrübe	3.931,71	1.290,86	751,74
	Winterweizen	5.014,01	836,93	132,30
	Körnermais	4.895,40	1.263,39	273,06
2018	Sojabohne	-	431,50	62,60
	Winterweizen	5.103,32	845,14	171,40
	Körnermais	5.176,04	1.281,70	383,19
2019	Sojabohne	-	739,12	67,94
	Winterweizen	5.063,43	801,38	204,58
	Körnermais	5.051,78	1.315,67	423,91
	Ölkürbis	3.110,64	763,93	306,99
2020	Sojabohne	40,95	170,32	64,62
	Winterweizen	5.989,35	1.025,74	157,79
	Körnermais	4.943,77	1.342,53	419,56
	Ölkürbis	3.173,82	774,36	298,43

(Tabelle 14) Energieinput bemessen am Dieserverbrauch beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Saatbeet- bereitung (MJ/ha)	Aussaat und Kulturpflege (MJ/ha)	Ernte (MJ/ha)	Summe (MJ/ha)
2015	Sojabohne	1.895,60	401,80	1.393,68	3.691,08
	Sonnenblume	927,20	431,48	1.010,04	2.368,72
	Zuckerrübe	1.583,73	851,89	1.756,50	4.192,11
	Winterweizen	1.569,55	1.122,12	1.123,01	3.814,67
	Körnermais	1.602,33	385,85	1.325,57	3.3143,64
2016	Sojabohne	1.895,60	467,81	1.393,68	3.757,08
	Sonnenblume	927,19	431,48	1.010,04	2.368,72
	Zuckerrübe	1.583,73	851,89	1.756,50	4.192,11
	Winterweizen	1.569,55	1.122,12	1.123,01	3.814,67
	Körnermais	1.602,33	385,85	1.325,57	3.313,64
2017	Sojabohne	1.895,60	412,43	1.393,68	3.701,71
	Zuckerrübe	1.583,73	1.038,84	1.756,50	4.379,05
	Winterweizen	1.569,55	1.018,46	1.123,01	3.711,01
	Körnermais	1.602,33	385,85	1.325,57	3.313,64
2018	Sojabohne	1.895,60	775,69	1.393,68	4.064,97
	Winterweizen	1.046,37	1.163,32	1.123,01	3.332,69
	Körnermais	1.602,33	385,85	1.325,57	3.313,64
2019	Sojabohne	1.895,60	588,75	1.393,68	3.878,02
	Winterweizen	1.046,37	1.163,32	1.123,01	3.332,69
	Körnermais	1.602,33	385,85	1.325,57	3.313,64
	Ölkürbis	1.670,55	1.262,99	1.033,96	3.968,51
2020	Sojabohne	1.895,60	831,07	1.393,68	4.121,34
	Winterweizen	1.046,37	1.227,11	1.123,01	3.396,48
	Körnermais	1.602,33	385,85	1.325,57	3.313,64
	Ölkürbis	1.670,55	1.262,99	1.033,96	3.967,51

(Tabelle 15) Energieinput durch Transport beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Transportaufwand (MJ/ha)	Erntemengen (kg/ha)
2020	Sojabohne	71,23	3.224,73
2016	Sonnenblume	54,14	2.451,24
2017	Zuckerrübe	31.193,03	65.197,37
2020	Winterweizen	167,62	7.588,95
2020	Körnermais	278,72	12.619,77
2020	Ölkürbis	95,76	739,03

(Tabelle 16) Energieinput durch Trocknung beim Körnermais des landwirtschaftlichen Betriebs Resetar

Jahr	Trocknungsaufwand (MJ/ha)	Erntemenge (kg/ha)	Feuchtigkeit (%)
2015	5.899,79	8.120,17	25
2016	7.168,85	10.867,82	24
2017	6.375,41	8.774,79	25
2018	3.079,68	7.762,46	20
2019	7.457,95	10.264,74	25
2020	7.539,72	12.618,77	23

(Tabelle 17) Energieinput durch Maschinen beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Mechanisierung	Typ	Gewicht (kg)	MJ/Gerät	Absch.	MJ/ha
John Deere (115 PS)	Radtraktor	4.825	446.312,5	12	117
John Deere (250 PS)	Radtraktor	9.500	878.750,0	8	345
John Deere (130 PS)	Radtraktor	5.250	485.625,0	12	127
John Deere Mähdrescher (430 PS)	Selbstfahrende Erntemaschine	13.700	1.267.250,0	10	253
Kipper Brandtner	Anhänger	4.400	332.200,0	20	52
Kipper Brandtner	Anhänger	1.660	125.330,0	20	20
Kipper	Anhänger	6.000	453.000,0	20	71
Grubber	Bodenbearbeitungsgerät	2.130	154.425,0	15	32
Tiefengrubber	Bodenbearbeitungsgerät	1.950	141.375,0	20	22
Pflug	Bodenbearbeitungsgerät	2.800	203.000,0	15	43
Kombination	Bodenbearbeitungsgerät	2.010	145.725,0	20	23
Scheibenegge	Bodenbearbeitungsgerät	3.300	239.250,0	20	38
Schleppgerät	Bodenbearbeitungsgerät	1.500	108.750,0	20	17
Striegel	Bodenbearbeitungsgerät	1.310	94.975,0	20	15
Hackgerät Soja	Bodenbearbeitungsgerät	1.380	100.050,0	20	16
Hackgerät Kürbis	Bodenbearbeitungsgerät	590	42.775,0	20	7
Kreiselegge	Bodenbearbeitungsgerät	965	69.962,5	20	11
Ackerwalze	Bodenbearbeitungsgerät	2.600	188.500,0	20	30
Einzelkornsaatmaschine	Ausbringgerät	1.800	126.900,0	15	27
Maissaatgerät	Ausbringgerät	1.150	81.075,0	15	17
Drillsaatmaschine	Ausbringgerät	560	39.480,0	20	6
Düngerstreuer	Ausbringgerät	680	47.940,0	15	10
Anbauspritze	Ausbringgerät	690	48.645,0	20	8
Summe					1.307

(Tabelle 18) Ertrag und Energieoutput beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Ertrag kg/ha	Energieoutput MJ/ha
2015	Sojabohne	2.050,14	75.440,15
	Sonnenblume	2.022,60	74.411,68
	Zuckerrübe	60.247,12	110.252,23
	Winterweizen	5.382,15	100.107,99
	Körnermais	8.120,17	150.223,15
2016	Sojabohne	2.088,65	76.862,32
	Sonnenblume	2.451,24	90.205,63
	Zuckerrübe	62.387,35	114.168,85
	Winterweizen	5.867,81	109.141,27
	Körnermais	10.867,82	201.054,67
2017	Sojabohne	2.172,28	79.939,90
	Zuckerrübe	65.197,37	119.311,19
	Winterweizen	5.435,25	101.095,65
	Körnermais	8.774,79	162.333,62
2018	Sojabohne	2.560,16	94.213,88
	Winterweizen	6.235,01	115.971,19
	Körnermais	7.762,46	143.605,51
2019	Sojabohne	2.982,44	109.753,79
	Winterweizen	6.025,72	112.078,39
	Körnermais	10.264,74	189.897,69
	Ölkürbis	692,41	19.595,20
2020	Sojabohne	3.224,73	118.670,06
	Winterweizen	7.588,95	141.154,47
	Körnermais	12.618,77	233.447,25
	Ölkürbis	739,03	20.914,55

(Tabelle 19) Berechnung der Energieinputs und -outputs für Winterweizen im Jahr 2020

Winterweizen (2020)	Input (MJ/ha)	Output (MJ/ha)
Fungizide	113,28	
Insektizide	11,94	
Herbizide	732,97	
Saatgut	2.199,86	
Stickstoffdünger	5.989,35	
Phosphordünger	1.025,74	
Kaliumdünger	157,79	
Dieserverbrauch Summe Arbeitsschritte	3.396,48	
Transport	167,62	
Trocknung	0	
Maschinen	1.307,00	
Ertrag		141.154,47
Summe	15.102	141.155

(Tabelle 20) Verhältnis zwischen Energieinput und -output beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Jahr	Kultur	Energieinput (MJ)	Energieoutput (MJ)	Verhältnis zwischen Input und Output
2020	Sojabohne	11.194,00	118.670,06	1060,12 %
2017	Sonnenblume	8.967,83	90.205,63	1005,88 %
2018	Zuckerrübe	45.805,42	119.311,19	260,47 %
2020	Winterweizen	15.101,52	141.154,47	934,70 %
2020	Körnermais	22.753,51	233.447,25	1025,98 %
2020	Ölkürbis	11.494,46	20.914,55	181,95 %

(Tabelle 21) Pflanzenschutzmittelverbrauch beim Modellbetrieb

Kultur	Fungizide (MJ/ha)	Insektizide (MJ/ha)	Herbizide (MJ/ha)
Winterweizen	265,95	40,64	258,04
Körnermais	-	53,02	582,08
Sojabohne	-	17,27	628,99
Winterraps	133,73	432,12	655,85
Zuckerrübe	637,20	296,00	1.851,85
Sonnenblume	-	-	1.450,40

(Tabelle 22) Saatgutverbrauch beim Modellbetrieb

Kultur	Saatgut (kg/ha)	Saatgut (MJ/ha)
Winterweizen	160,0	2.080,0
Körnermais	25,5	2.550,0
Sojabohne	110,0	3.740,0
Winterraps	5,0	1.000,0
Zuckerrübe	3,1	167,4
Sonnenblume	5,0	100,0

(Tabelle 23) Düngemittelverbrauch beim Modellbetrieb

Kultur	N (MJ/ha)	P (MJ/ha)	K ₂ O (MJ/ha)
Winterweizen	5.118,5	869	325,5
Körnermais	5.471,5	1.343	483,0
Sojabohne	2.118,0	1.027	336,0
Winterraps	5.471,5	1.185	430,5
Zuckerrübe	5.471,5	1.343	819,0
Sonnenblume	2.294,5	1.027	749,7

(Tabelle 24) Szenario größtmögliche Mechanisierung Modellbetrieb (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V 2020; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021)

Arbeitsschritt	Größtmögliche Mechanisierung	Dieselvebrauch (l/ha)	Energieäquivalent (MJ/ha)
Saatbearbeitung	Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber (6 m, 200kW)	11,49	509,01
	Bodenbearbeitung mit Grubber tief (3 m, 200 kW)	19,81	877,58
	Bodenbearbeitung mit Scheibenegge	7,00	310,00
	Bodenbearbeitung mit Pflug (6 Schare, 200 kW)	32,95	1.459,69
	Bodenbearbeitung mit Federzinkenegge (6 m, 83 kW)	6,58	291,49
	Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine (4 m, 138 kW)	16,66	738,04
	Walzen mit Ackerfläche (8 m, 83 kW)	5,07	224,60
	Pflanzenschutz mit Anhängfeldspritze (21 m, 83 kW)	2,38	105,43
	Pflege mit Striegel (15 m, 83 kW)	2,10	93,03
	Düngerausbringung mit Anhängeschleuderstreuer (83 kW)	1,50	66,45
Ernte	Einzelkornsaat Körnermais (12-reihig, 67 kW)	3,24	143,53
	Einzelkornsaat Sojabohne/Zuckerrübe (12-reihig, 87 kW)	6,67	295,48
	Hacken mit Hackgerät (12-reihig, 67 kW)	4,87	215,74
	Einzelkornsaat Sonnenblume (12-reihig, 54 kW)	3,72	164,80
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 3 t/ha	23,19	1.027,32
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 10 t/ha	30,84	1.366,21
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 6 t/ha	25,16	1.114,59
	Ernte mit Zuckerrübenroder-Selbstfahrer	53,00	2.347,90

(Tabelle 25) Szenario kleinstmögliche Mechanisierung Modellbetrieb (Eigene Darstellung nach Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V 2020; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2021)

Arbeitsschritt	Größtmögliche Mechanisierung	Dieselvebrauch (l/ha)	Energieäquivalent (MJ/ha)
Saatbearbeitung	Bodenbearbeitung mit Stoppelgrubber	9,00	389,70
	Bodenbearbeitung mit Feingrubber Eggen mit Kurzscheibenegge (2,5 m, 45 kW)	7,00	310,10
Aussaat und Kulturpflege	Bodenbearbeitung mit Pflug	4,50	199,35
	Aussaat mit Kreiselegge + Sämaschine	23,00	1.018,90
	Walzen mit Ackerfläche	15,00	664,50
	Pflanzenschutz mit Feldspritze	3,50	155,05
	Düngerausbringung mit	2,00	88,60
	Einzelkorntsaat Körnermais	1,50	66,45
	Einzelkorntsaat Sojabohne	5,00	221,50
	Hacken mit Hackgerät (5-reihig, 45 kW)	5,00	221,50
	Einzelkorntsaat Sonnenblume	5,20	230,36
	Einzelkorntsaat Zuckerrübe	5,00	221,50
Ernte	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 3 t/ha	5,00	221,50
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 10 t/ha	23,19	1.027,32
	Mähdrescher (350 kW) Erntemenge 6 t/ha	30,84	1.366,21
	Ernte mit Zuckerrübenroder-Selbstfahrer	25,16	1.114,59
		53,00	2.347,90

(Tabelle 26) Energieinput durch Transport beim Modellbetrieb bei einem Transportweg von 5,54 km

Kultur	Erntemenge (kg/ha)	Transport (MJ/ha)	Anteil am Gesamtenergieinput
Winterweizen	5972,00	131,91	0,90 %
Körnermais	10496,00	231,84	1,01 %
Sojabohne	2851,00	62,97	0,48 %
Winterraps	3188,00	70,42	0,49 %
Zuckerrübe	65197,37	1440,07	10,03 %
Sonnenblume	2664,00	58,84	0,58 %

(Tabelle 27) Energieinput durch Maschinen beim Modellbetrieb

Mechanisierung	Typ	Gewicht (kg)	Abschreibung (Jahre)	MJ/Gerät	MJ/ha
John Deere (130 PS)	Radtraktor	5.250	16	485.625,00	607,00
John Deere (115 PS)	Radtraktor	4.825	16	446.312,50	557,90
Kipper	Anhänger	1.660	20	125.330,00	125,30
Kipper	Anhänger	1.660	20	125.330,00	125,30
Grubber 4 m	Bodenbearbeitungsgerät	1.695	20	122.887,50	122,90
Pflug 4 Scharren	Bodenbearbeitungsgerät	1.550	20	112.375,00	112,40
Kurzscheibenegge 2,5 m	Bodenbearbeitungsgerät	1.470	20	106.575,00	106,60
Hackgerät Soja 5-reihig	Bodenbearbeitungsgerät	630	20	45.675,00	45,70
Schleppgerät	Bodenbearbeitungsgerät	1.500	20	108.750,00	108,80
Kreiselegge	Bodenbearbeitungsgerät	965	20	69.962,50	70,00
Einzelkornsaatmaschine 6-reihig	Ausbringgerät	420	15	29.610,00	39,50
Drillsaatmaschine	Ausbringgerät	560	20	39.480,00	39,50
Maissaatgerät 6-reihig	Ausbringgerät	1.150	15	81.075,00	108,10
Anbauspritze 15 m	Ausbringgerät	690	20	48.645,00	48,60
Anbaudüngerstreuer	Ausbringgerät	300	15	21.150,00	28,20
Summe					2.245,70

(Tabelle 28) Erntemengen Modellbetrieb

Kultur	Erntemenge (kg/ha)	Erntemenge (MJ/ha)
Winterweizen	5.972,00	111.079,20
Körnermais	10.496,00	194.176,00
Sojabohne	2.851,00	104.916,80
Winterraps	3.188,00	119.868,80
Zuckerrübe	65.197,37	119.311,19
Sonnenblume	2.664,00	98.035,20

(Tabelle 29) Berechnungen Energieinput und -output für Winterweizen Modellbetrieb

Winterweizen	Input (MJ/ha)	Output (MJ/ha)
Fungizide	265,95	
Insektizide	40,64	
Herbizide	258,04	
Saatgut	2.080,00	
Stickstoffdünger	5.118,50	
Phosphordünger	869,00	
Kaliumdünger	325,50	
Dieserverbrauch	3.196,69	
Transport	131,91	
Trocknung	0	
Maschinen	2.245,70	
Ertrag		111.079,20
Summe	14.531,93	111.079,20

(Tabelle 30) Verhältnis zwischen Energieinput und -output Modellbetrieb

Kultur	Energieinput (MJ/ha)	Energieoutput (MJ/ha)	Verhältnis zwischen Input und Output
Winterweizen	14.531,90	111.079,20	764,38 %
Körnermais	22.956,30	194.176,00	845,85 %
Sojabohne	13.171,10	104.916,80	796,56 %
Winterraps	14.270,00	119.868,80	840,00 %
Zuckerrübe	14.353,70	119.311,19	831,22 %
Sonnenblume	10.128,30	98.035,20	967,93 %

(Tabelle 31) Verhältnis des Energieinputs zwischen dem landwirtschaftlichen Betrieb Resetar und Modellbetrieb

Kultur	Energieinput (MJ/ha) Betrieb Resetar	Energieinput (MJ/ha) Modellbetrieb	Verhältnis Resetar/Modellbetrieb
Winterweizen	15.101,52	14.531,90	+ 3,92 %
Körnermais	22.753,51	22.956,30	- 0,88 %
Sojabohne	11.194,00	13.171,10	- 15,01 %
Kultur	Energieoutput (MJ/ha) Betrieb Resetar	Energieoutput (MJ/ha) Modellbetrieb	Verhältnis Resetar/Modellbetrieb
Winterweizen	141.154,50	111.079,20	+ 27,08 %
Körnermais	233.447,20	194.176,00	+ 20,23 %
Sojabohne	118.670,10	104.916,80	+ 13,11 %

(Tabelle 32) Verhältnis zwischen Energieinput und -output

Kultur	Verhältnis zwischen Input und Output Modellbetrieb	Verhältnis zwischen Input und Output Betrieb Resetar
Winterweizen	764,38 %	934,70%
Körnermais	845,85 %	1025,98%
Sojabohne	796,56 %	1060,12%

(Tabelle 33) Anteil von Dieselinput am Gesamtenergieinput beim landwirtschaftlichen Betrieb Resetar

Kultur	Gesamt-energieinput (MJ/ha)	(Davon) Diesel-input (MJ/ha)	Anteil von Dieserverbrauch (%)	Jahr
Sojabohne	11.194,00	4.191,57	31,1	2020
Sonnenblume	8.967,83	2.422,86	27,0	2016
Zuckerrübe	45.805,43	35.572,08	77,7	2017
Winterweizen	15.101,52	3.564,11	23,6	2020
Körnermais	22.753,51	3.592,36	15,7	2020
Ölkürbis	11.494,46	4.063,27	35,3	2020

(Tabelle 34) Anteil von Dieselinput am Gesamtenergieinput beim Modellbetrieb

Kultur	Gesamt-energieinput (MJ/ha)	(Davon) Diesel-input (MJ/ha)	Anteil von Dieserverbrauch (%)
Winterweizen	14.531,90	3.328,60	22,9
Körnermais	22.956,30	3.303,60	14,3
Sojabohne	13.171,10	3.058,09	23,2
Winterraps	14.270,00	2.715,57	19,0
Zuckerrübe	14.353,70	5.559,98	38,7
Sonnenblume	10.128,30	2.260,99	22,3

(Tabelle 35) Trocknungsaufwand Modellbetrieb und landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

	Gesamt- energieinput (MJ/ha)	(Davon) Trocknungs- input (MJ/ha)	Anteil vom Trocknungs- aufwand	Jahr
Betrieb Resetar				
Körnermais	22.753,51	7.539,72	33,1 %	2020
Modellbetrieb				
Körnermais	22.726,80	6.923,58	30,4 %	-

(Tabelle 36) Anteil von Stickstoffverbrauch landwirtschaftlicher Betrieb Resetar

Kultur	Gesamt- energieinput (MJ/ha)	(Davon) Stickstoffinput (MJ/ha)	Anteil von Stickstoff- verbrauch	Jahr
Sojabohne	11.194,00	40,95	0,33 %	2020
Sonnenblume	8.967,83	2.115,88	23,59 %	2016
Zuckerrübe	45.805,43	3.931,71	8,58 %	2017
Winterweizen	15.101,52	5.989,35	39,66 %	2020
Körnermais	22.753,51	4.943,77	20,40 %	2020
Ölkürbis	11.494,46	3.173,82	27,61 %	2020

(Tabelle 37) Anteil von Stickstoffverbrauch Modellbetrieb

Kultur	Gesamt- energieinput (MJ/ha)	(Davon) Stickstoff- input (MJ/ha)	Anteil von Stickstoff- verbrauch
Winterweizen	14.531,90	5.118,50	35,2 %
Körnermais	22.956,30	5.471,50	23,8 %
Sojabohne	13.171,10	2.118,00	16,1 %
Winterraps	14.270,00	5.471,50	38,3 %
Zuckerrübe	14.353,70	5.471,50	38,1 %
Sonnenblume	10.128,30	2.294,50	22,7 %

(Tabelle 38) Einsparung fossiler Energieträger

	Gesamt- energieinput (MJ/ha)	(Davon) Diesel- input (MJ/ha)	Trocknungs- aufwand (MJ/ha)	Stickstoff- input (MJ/ha)	Einsparung
Betrieb Resetar					
Sojabohne	12.279,11	4.191,57		40,95	31,43 %
Sonnenblume	8.967,83	2.422,86		2.115,88	50,59 %
Zuckerrübe	45.805,43	35.572,08		3.931,71	86,28 %
Winterweizen	15.101,52	3.564,11		5.989,35	63,26 %
Körnermais	22.753,51	3.592,36	7.153,69	4.943,77	67,50 %
Ölkürbis	5.369,85	4.063,27		3.173,82	75,70 %
Modellbetrieb					
Winterweizen	14.531,90	3.328,60		5.118,50	58,10 %
Körnermais	22.956,30	3.303,60	6.569,09	5.471,50	67,00 %
Sojabohne	13.171,10	3.058,09		2.118,00	39,30 %
Winterraps	14.270,00	2.715,57		5.471,50	57,30 %
Zuckerrübe	14.353,70	5.559,98		5.471,50	76,80 %
Sonnenblume	10.128,30	2.260,99		2.294,50	45,00 %