

# **Energieaufwand und Energieeffizienz von konventionellen und biologischen Fruchtfolgen in der Südsteiermark im Wasserschongebiet**

## **Masterarbeit**

an der Universität für Bodenkultur

Masterstudium: 066 455 Angewandte Pflanzenwissenschaften

vorgelegt von  
**Ing. Georg Thünauer, BSc**

betreut von  
Univ.Prof. Dipl. Ing. Dr. Andreas Gronauer  
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Gerhard Moitzi  
DI Dr. Johann Robier, Versuchsreferat Steiermark

Wien, Juni 2013

## Danksagung

Für die Unterstützung bei meiner Masterarbeit möchte ich meinen Betreuern Dr. Gronauer und Dr. Moitzi am Institut für Landtechnik an der Universität für Bodenkultur und Dr. Robier vom Versuchsreferat Steiermark danken.

Für die Unterstützung während meines Studiums danke ich meiner Familie, meinen Freunden und meinen Studienkollegen.

Abschließend danke ich meiner Freundin, die viele schlaflose Nächte und arbeitsintensive Wochenenden meinerseits ertragen musste und mich immer wieder aufs Neue motivierte, die vorliegende Arbeit fertigzustellen. Sie hat es immer geschafft mir die passende Richtung zu weisen und hat mir geholfen mich voll und ganz auf meine Ziele zu konzentrieren.

Mein größter Motivationsfaktor war aber unbestritten meine Tochter Isabella, für deren Wohl keine Anstrengung zu groß sein kann.

DANKE!

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problemstellung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>8</b>
4.1	Standort Wagna	9
4.1.1	Lage des Versuchsstandortes	9
4.1.2	Übersicht über den Versuchsstandort Wagna	10
4.1.3	Geschichte des Versuchsstandortes	11
4.1.4	Die natürlichen Voraussetzungen am Versuchsfeld Wagna:	12
4.1.4.1	Böden	12
4.1.4.2	Klimadaten	13
4.2	Versuchsaufbau	17
4.3	Fruchtfolge	22
4.4	Arbeitsgänge im Jahresverlauf	25
4.5	Energieaufwand – Energieinput	29
4.5.1	Direkter Energieaufwand	29
4.5.1.1	KTBL Feldarbeitsrechner	31
4.5.1.2	Dieselbedarf	33
4.5.1.3	Trocknung	33
4.5.2	Indirekter Energieaufwand	36
4.5.2.1	Düngemittel	36
4.5.2.2	Saatgut	39
4.5.2.3	Pflanzenschutzmittel	40
4.5.2.4	Maschinen	43
4.6	Verwendete Energieäquivalente	44
4.7	Energiebilanzierung	45
4.8	Energetische Kennzahlen	46
4.9	Eingesetzte Software	48
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>49</b>
5.1	Energiebilanzierung	49
5.1.1	Direkter Energieaufwand	50
5.1.1.1	Dieserverbrauch nach KTBL Feldarbeitsrechner	50
5.1.1.2	Transport	52
5.1.1.3	Trocknung	53
5.1.2	Indirekter Energieaufwand	55
5.1.2.1	Maschinen	55
5.1.2.2	Saatgut	55
5.1.2.3	Düngemittel	55
5.1.2.4	Pflanzenschutzmittel	56
5.2	Energetische Berechnung	60
5.3	Erträge – Energieoutput	61
5.3.1	Erträge 2010	61
5.3.2	Erträge 2011	63

5.3.3	Erträge 2012.....	65
5.3.4	Durchschnittserträge über den gesamten Versuchszeitraum 2010 bis 2012.....	67
5.4	Ergebnisse allgemein.....	69
5.4.1	Ergebnisse 2010.....	70
5.4.2	Ergebnisse 2011.....	81
5.4.3	Ergebnisse 2012.....	91
5.5	Ergebnisse summiert über die Versuchsjahre von 2010 bis 2012.....	99
5.6	Adaptierungen des Modells.....	107
5.6.1	Sensitivitätsanalyse – Energieaufwand bei der Produktion von N-Dünger.....	109
5.6.2	Energetische Bewertung des Einsatzes von Gülle.....	113
5.6.3	Sensitivitätsanalyse – Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut.....	117
5.6.4	Ergebnisse des adaptierten Modells.....	121
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>124</b>
6.1	Schlussfolgerungen für die Praxis.....	124
6.2	Schlussfolgerungen für die Wissenschaft.....	127
<b>7</b>	<b>Kritische Reflexion der vorliegenden Arbeit.....</b>	<b>128</b>
<b>8</b>	<b>Weiterführende Arbeiten.....</b>	<b>130</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>132</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>134</b>
<b>11</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>- 138 -</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bearbeitungen im Jahresverlauf des Bewirtschaftungsjahres 2010 für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge .....	26
Tabelle 2: Bearbeitungen im Jahresverlauf des Bewirtschaftungsjahres 2011 für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge .....	27
Tabelle 3: Bearbeitungen im Jahresverlauf des Bewirtschaftungsjahres 2012 für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge .....	28
Tabelle 4: Energieäquivalente für den direkten Energieaufwand in Form von Dieselmotorkraftstoff, Heizöl und elektrischen Strom .....	30
Tabelle 5: Ölverbrauch [Liter] bei der Trocknung von Körnermais auf 14 % Endfeuchte bezogen auf die Anfangsfeuchte [%] .....	34
Tabelle 6: Stromverbrauch [kWh] bei der Trocknung von Körnermais auf 14 % Endfeuchte bezogen auf die Anfangsfeuchte [%] .....	35
Tabelle 7: Energieäquivalente für den Energieaufwand bei der Produktion von mineralischen Düngemitteln .....	38
Tabelle 8: Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut .....	40
Tabelle 9: Energieaufwand bei der Produktion von synthetischen Pflanzenschutzmitteln .....	42
Tabelle 10: Aufstellung der verwendeten Energieäquivalente für die Energiebilanzierung .....	44
Tabelle 11: Allgemeine Berechnung des Energieinputs [MJ/ha] und Energieoutputs [MJ/ha] eines Fruchtfolgeglieders .....	46
Tabelle 12: Energieäquivalente [MJ/ha] je Arbeitsverfahren laut KTBL Feldarbeitsrechner ..	51
Tabelle 13: Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung 2010 .....	54
Tabelle 14: Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung 2011 .....	54
Tabelle 15: Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung 2012 .....	54
Tabelle 16: Energieäquivalente durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 2010 .....	57
Tabelle 17: Energieäquivalente durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 2011 .....	58
Tabelle 18: Energieäquivalente durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 2012 .....	59
Tabelle 19: Exemplarische Energieberechnung anhand des Fruchtfolgeglieders Konventionell, Körnermais 1, 2010 .....	60
Tabelle 20: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] 2010 .....	61
Tabelle 21: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] 2011 .....	63
Tabelle 22: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] 2012 .....	65
Tabelle 23: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] über den gesamten Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	67
Tabelle 24: Werte für den Energieinput der konventionellen Fruchtfolge 2010 .....	70
Tabelle 25: Übersicht der energetischen Kennzahlen der konventionellen Fruchtfolge 2010	71
Tabelle 26: Werte für den Energieinput der biologischen Fruchtfolge 2010 .....	72
Tabelle 27: Übersicht der energetischen Kennzahlen der biologischen Fruchtfolge 2010 .....	72
Tabelle 28: Werte für den Energieinput der konventionellen Fruchtfolge 2011 .....	81
Tabelle 29: Übersicht der energetischen Kennzahlen der konventionellen Fruchtfolge 2011	82
Tabelle 30: Werte für den Energieinput der biologischen Fruchtfolge 2011 .....	83
Tabelle 31: Übersicht der energetischen Kennzahlen der biologischen Fruchtfolge 2011 .....	84
Tabelle 32: Werte für den Energieinput der konventionellen Fruchtfolge 2012 .....	91
Tabelle 33: Übersicht der energetischen Kennzahlen der konventionellen Fruchtfolge 2012	91

Tabelle 34: Werte für den Energieinput der biologischen Fruchtfolge 2012 .....	92
Tabelle 35: Übersicht der energetischen Kennzahlen der biologischen Fruchtfolge 2012.....	92
Tabelle 36: Energieinput [MJ] der konventionellen und biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolgen für die Versuchsjahre 2010, 2011 und 2012 .....	99
Tabelle 37: Gesamtenergieeinsatz [MJ] der konventionellen und biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge über die gesamten Versuchsjahre von 2010 bis 2012 (je 12 ha).....	100

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Probleme in der Landwirtschaft (Quelle: LV Unterlagen Technik in der ÖLW, Moitzi 2012).....	3
Abbildung 2: Versuchsstandort Wagna auf der Österreichkarte (Quelle: <a href="http://www.austria-navigator.de/karte/1994.jpg">http://www.austria-navigator.de/karte/1994.jpg</a> ).....	9
Abbildung 3: Versuchsstandort Wagna auf einem Satellitenbild (Quelle: GIS Steiermark)....	10
Abbildung 4: Bodenanalyse der Parzelle 1 des Großparzellenversuches Wagna (exemplarisch für alle 32 Parzellen).....	13
Abbildung 5: Niederschlagsverteilung des Jahres 2010 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark).....	14
Abbildung 6: Temperaturverlauf des Jahres 2010 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark).....	14
Abbildung 7: Temperaturverlauf des Jahres 2011 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark).....	15
Abbildung 8: Niederschlagsverteilung des Jahres 2011 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark).....	15
Abbildung 9: Temperaturverlauf des Jahres 2012 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark).....	16
Abbildung 10: Niederschlagsverteilung des Jahres 2012 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark).....	16
Abbildung 11: Entfernen der überschüssigen angebauten Getreidepflanzen um die exakte Fläche von 1000 m <sup>2</sup> für die weiteren Hochrechnungen zu erhalten (Foto: J. Robier/Versuchsreferat Steiermark).....	17
Abbildung 12: Entfernen der überschüssigen angebauten Maispflanzen um die exakte Fläche von 1000 m <sup>2</sup> für die weiteren Hochrechnungen zu erhalten (Foto: J. Robier/Versuchsreferat Steiermark).....	18
Abbildung 13: Übersicht über den Versuchsaufbau am Großparzellenversuch Wagna (Skizze).....	19
Abbildung 14: Übersicht über die Verteilung der Parzellen und der Bewirtschaftungsmodelle am Versuchsstandort Wagna.....	20
Abbildung 15: Angebaute Fruchtfolge auf den Parzellen am Versuchsstandort Wagna im Versuchsjahr 2010.....	23
Abbildung 16: Angebaute Fruchtfolge auf den Parzellen am Versuchsstandort Wagna im Versuchsjahr 2011.....	24
Abbildung 17: Angebaute Fruchtfolge auf den Parzellen am Versuchsstandort Wagna im Versuchsjahr 2012.....	24
Abbildung 18: KTBL Feldarbeitsrechner - Eingabemaske.....	32
Abbildung 19: Ergebnisse des KTBL Feldarbeitsrechners als MS Excel Export.....	32
Abbildung 20: Entwicklung des Energieverbrauches bei der Produktion von Stickstoffdünger (Quelle: Scholz, 1997 in Agrartechnische Forschung 3).....	37
Abbildung 21: Allgemeiner Energiefluss auf dessen Basis das Bilanzierungsmodell erstellt wurde.....	45
Abbildung 22: Formeln für die Berechnung der energetischen Kennzahlen.....	48
Abbildung 23: Energiefluss beim Transport von Dünger zum Feld und von Erntegut zum Hof.....	52
Abbildung 24: Energiefluss bei der Trocknung von Körnermais.....	53
Abbildung 25: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] im Versuchsjahr 2010.....	62

Abbildung 26: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] im Versuchsjahr 2011 .....	64
Abbildung 27: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] im Versuchsjahr 2012 .....	66
Abbildung 28: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012.....	68
Abbildung 29: Energieinput [MJ/ha] auf einzelne Varianten aufgeschlüsselt 2010.....	74
Abbildung 30: Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2010 .....	75
Abbildung 31: Output/Input Verhältnis der einzelnen Varianten 2010 .....	76
Abbildung 32: Energieintensität [MJ/kg] der einzelnen Varianten 2010.....	76
Abbildung 33: Netto-Energiebilanz [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2010.....	77
Abbildung 34: Übersicht über den Energieinput [MJ] der summierten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Körnermais - Triticale - Kürbis) 2010.....	78
Abbildung 35: Energieinput [MJ] und Energieoutput [MJ] der konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Körnermais - Triticale - Kürbis ) 2010.....	79
Abbildung 36: Output/Input Verhältnis der konventionellen und biologischen Fruchtfolge 2010 .....	79
Abbildung 37: Energieintensität [MJ/kg Ertrag] der konventionellen und biologischen Fruchtfolge 2010 .....	80
Abbildung 38: Netto-Energiebilanz [MJ] der konventionellen und biologischen Fruchtfolge (je 4 ha) 2010.....	80
Abbildung 39: Energieinput [MJ/ha] auf die einzelnen Varianten aufgeschlüsselt 2011 .....	84
Abbildung 40: Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2011 .....	85
Abbildung 41: Output/Input Verhältnis der einzelnen Varianten 2011 .....	86
Abbildung 42: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der einzelnen Varianten 2011 .....	86
Abbildung 43: Netto-Energiebilanz in MJ pro ha der einzelnen Varianten 2011 .....	87
Abbildung 44: Energieeinsatz in MJ der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge( Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis ) im Jahr 2011 .....	88
Abbildung 45: Input [MJ] und Output [MJ] der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) des Jahres 2011 .....	89
Abbildung 46: Output/Input Verhältnis über die gesamte konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) des Jahres 2011 .....	89
Abbildung 47: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut über die gesamte konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) des Jahres 2011 .....	90
Abbildung 48: Netto-Energiebilanz in MJ pro 4 ha der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2011.....	90
Abbildung 49: Energieinput [MJ/ha] auf die einzelnen Varianten aufgeschlüsselt 2012 .....	93
Abbildung 50: Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2012 .....	94
Abbildung 51: Output/Input Verhältnis der einzelnen Varianten 2012 .....	94
Abbildung 52: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der einzelnen Varianten 2012 .....	95
Abbildung 53: Netto-Energiebilanz in MJ pro ha der einzelnen Varianten 2012.....	95
Abbildung 54: Energieeinsatz in MJ der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2012 .....	96
Abbildung 55: Input [MJ] und Output [MJ] der konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) ) 2012.....	97

Abbildung 56: Output/Input Verhältnis der konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis ) 2012.....	97
Abbildung 57: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut für die konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2012 .....	98
Abbildung 58: Netto-Energiebilanz in MJ für die gesamte konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2012 .....	98
Abbildung 59: Energieinput [GJ] für die konventionelle und biologische 4-gliedrige Fruchtfolge (4ha) im Jahresvergleich.....	100
Abbildung 60: Energieinput [GJ/12 ha] für die konventionelle und die biologische 4-gliedrige Fruchtfolge - summiert über die Versuchsjahre 2010 bis 2012 .....	101
Abbildung 61: Energieinput [GJ] und Energieoutput [GJ] für die konventionelle und die biologische 4-gliedrige Fruchtfolge - summiert über die Versuchsjahre 2010 bis 2012 .....	102
Abbildung 62: Output/Input Verhältnis der einzelnen Fruchtfolgen im Jahresvergleich .....	103
Abbildung 63: Output/Input Verhältnis der konventionellen und biologischen Fruchtfolge berechnet über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	103
Abbildung 64: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut für die einzelnen Fruchtfolgen im Jahresvergleich .....	104
Abbildung 65: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen und biologischen Fruchtfolge über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	104
Abbildung 66: Netto-Energiebilanz in GJ der einzelnen Fruchtfolgen (je 4 ha) im Jahresvergleich .....	105
Abbildung 67: Netto-Energiebilanz in GJ der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolgen (je 12 ha) über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	106
Abbildung 68: Energieinput [GJ] der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge 2010 bis 2012 (12 ha), mit steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg N, 60 MJ/kg N, 80 MJ/kg N), im Vergleich zur biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge .....	110
Abbildung 69: Auswirkungen auf das Output/Input Verhältnis der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge bei steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg N, 60 MJ/kg N, 80 MJ/kg N), im Vergleich zur biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge .....	111
Abbildung 70: Auswirkungen auf die Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge bei steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg, 60 MJ/kg, 80 MJ/kg), im Vergleich zur biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge .....	111
Abbildung 71: Auswirkungen auf die Netto-Energiebilanz in GJ der summierten konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge (12 ha) bei steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg N, 60 MJ/kg N, 80 MJ/kg N), im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge.....	112
Abbildung 72: Energieinput [GJ/12 ha] der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge .....	114
Abbildung 73: Output/Input Verhältnis der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge .....	115
Abbildung 74: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge .....	116
Abbildung 75: Netto-Energiebilanz in GJ/12 ha der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge.....	116

Abbildung 76: Energieinput [GJ/12 ha] der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg) .....	118
Abbildung 77: Output/Input Verhältnis der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg) .....	119
Abbildung 78: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg) .....	120
Abbildung 79: Netto-Energiebilanz in GJ/12 ha der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg) .....	120
Abbildung 80: Energieaufwand des adaptierten Modells in GJ/12 ha der 4-gliedrigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den gesamten Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	121
Abbildung 81: Output/Input Verhältnis des adaptierten Modells der 4-gliedrigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	122
Abbildung 82: Energieintensität des adaptierten Modells in MJ pro kg Erntegut der 4-gliedrigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	122
Abbildung 83: Netto-Energiebilanz des adaptierten Modells in GJ/12 ha der 4-gliedrigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 .....	123

## Kurzfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wird das Ziel verfolgt, eine konventionelle und eine biologische Fruchtfolge (Körnermais – Triticale – Körnermais – Kürbis) am Standort Wagna hinsichtlich ihres Energieaufwandes und der Energieeffizienz zu bewerten. Basis für die Berechnungen sind die Erträge, sowie die Aufzeichnungen über die durchgeführten Feldarbeiten und die eingesetzten Produktionsmittel, über die Jahre 2010, 2011 und 2012.

Beim Energieaufwand wird sowohl der direkte als auch der indirekte Energieaufwand in der Pflanzenproduktion bewertet. Der indirekte Energieaufwand entsteht bei der Produktion von Saatgut, Pflanzenschutz- und Düngemitteln und Maschinen. Der direkte Energieaufwand setzt sich aus den Aufwänden von Treibstoff, Heizöl und Strom für die Feldarbeiten, die Trocknung von Körnermais und den Transport zusammen.

Zur Bewertung der Energieeffizienz wurde ein Energiebilanzierungsmodell erstellt, welches den Energieinput mit dem Energieoutput gegenüberstellt und anhand von energetischen Kennzahlen (Output/Input Verhältnis, Energieintensität [MJ/kg Ertrag], Netto-Energiebilanz [MJ/ha]) bewertet.

Aufgrund von speziellen Voraussetzungen am Standort Wagna ist die Bewertung mittels Standardmodell nur schwer möglich. Daher wurde zusätzlich ein adaptiertes Modell erstellt, in dem für das Modell kritische Energieaufwände neu bewertet wurden.

Im Rahmen der Masterarbeit zeigte sich, dass der Energieaufwand der biologischen Fruchtfolge sowohl im Basis- (-4%) als auch im adaptierten Modell (-38%) geringer sind als bei konventioneller Bewirtschaftung. Die energetischen Kennzahlen zeigen im Basismodell noch Vorteile für die konventionelle Bewirtschaftung, im adaptierten Modell wird, außer bei der Netto-Energiebilanz, die biologische Bewirtschaftung positiver bewertet.

Unter der Voraussetzung, dass Energie in Zukunft zum treibenden Kostenfaktor wird, ist auf Basis der Berechnungen in der vorliegenden Arbeit, die biologische Wirtschaftsweise am Standort Wagna zu bevorzugen.

## Abstract

The main objective of this master thesis is to compare a conventional and an organic crop production system, concerning the energy use and the energy efficiency. The trial is located in Wagna in the very south of Styria. The crop rotation used in the trial consists of grain maize – triticale – grain maize – Styrian oil pumpkin. Calculations in this thesis are based on the yield and notes of the “Versuchsreferat Steiermark” regarding field work and used resources for plant production in the years 2010, 2011 and 2012.

The energy use is calculated as the sum of direct energy use (diesel fuel, heating oil and electricity for field work, drying of grain maize and transportation) and indirect energy use (for the production of seeds, pesticides, fertilizers and machinery).

To evaluate the energy efficiency there was an energy balancing model created which compares the energy-input with the energy-output. Based on this results there are three energetic key figures which are used to describe the energy efficiency of the different production systems. The output/input ratio, the energy-intensity [MJ/kg yield] and the net-energy balance [MJ/ha].

Because of some special requirements in Wagna, results of the energy balancing model were not clear. An adapted model had to be created, in which the energy use of the critical factors was revalued.

The master thesis showed that the energy use of the organic crop rotation was in the basic model (-4%) as well as in the adapted model (-38%) lower than in the conventional crop rotation. The energetic key figures showed an advantage for the conventional managed system in the basic model. In the adapted model the output/input ratio and the energy-intensity are positive for the organic production system.

If energy will be the driving cost factor in the future, the calculations in this master thesis show that the organic crop rotation should be preferred on the site of Wagna.

# 1 Einleitung

In der modernen Landwirtschaft zählt vor allem der maximale Ertrag, oft ohne oder nur unter teilweiser Berücksichtigung der dafür notwendigen externen Produktionsmittel. Durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft gefördert, werden Betriebe immer größer, Maschinen immer leistungsfähiger und der Einsatz von externem Input immer intensiver.

Unter einer Vollkostenrechnung können sich die meisten Landwirte etwas vorstellen. Direkte Kosten für Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und Saatgut werden dem Ertrag gegenübergestellt. Aufwände für den Kauf der notwendigen Maschinen und die Kosten für den Dieseltreibstoff für deren Betrieb können sehr einfach in diese Berechnung eingebaut werden.

Ein wesentlicher Faktor, der in klassischen Berechnungen oft vernachlässigt wird, ist der Faktor Energie. Seit der Energiekrise in den 1970ern, wird dieser Faktor in allen Lebenslagen immer wichtiger und bleibt auch vor der klassischen Landwirtschaft nicht stehen.

Geht man in der Bewertung von Produktionssystemen nun einen Schritt weiter, so kann man die pflanzliche Produktion anhand des Energieeinsatzes und der Energieeffizienz bewerten.

Bei dieser Bewertung werden jedoch oft Fehler gemacht, oder es werden die Systemgrenzen zu eng gesetzt. Der komplette Energieaufwand, mit allen vor- bzw. nachgelagerten Aufwänden, der bei der pflanzlichen Produktion notwendig ist, wird nur sehr selten berücksichtigt.

Die Kosten für den direkten Energieaufwand, wie der Diesel- bzw. der Stromverbrauch, sind weitestgehend bekannt. Der indirekte Energieaufwand allerdings, der für die Herstellung von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Saatgut aufgewendet wird, wird oft nicht mehr berücksichtigt. Auch dem Energieaufwand für nachgelagerte Arbeiten, wie dem Transport oder der Trocknung des Erntegutes, wird oft keine Beachtung geschenkt.

Die Vernachlässigung des Faktors Energie, bzw. einzelner Teilbereiche, könnte sich mittelfristig als zweischneidiges Schwert entpuppen. Zwar wirken sich Kosten für die Produktion von Maschinen und Handelsdünger in Billiglohnländern, durch einen weltweiten Trend der Globalisierung, im Moment nicht so stark aus, allerdings wird es gerade in einer Zeit der steigenden Energiekosten - gefördert durch das Bewusstsein über die Begrenztheit der fossilen Energieträger und mangels adäquater Alternativen - immer wichtiger Energie als den entscheidenden Produktionsfaktor anzusehen.

Sollte in den kommenden Jahren die zunehmende Verknappung auf dem Energiesektor die Preise weiter in die Höhe treiben, führt an einer energieeffizienten Wirtschaftsweise kein Weg vorbei.

Eine Verteuerung am Energiesektor hat weitgreifende Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Zu einer Preiserhöhung für Dieselkraftstoff und Strom, welche als direkter Energieaufwand ausgemacht werden können, kommt auch eine Preiserhöhung für den indirekten Energieaufwand, bei der Produktion der eingesetzten Maschinen, Dünge- und Pflanzenschutzmittel und der Vorbereitung des Saatgutes.

In Zukunft müssen Produktionssysteme effektiver gestaltet werden und der Einsatz von Produktionsmitteln, wie mineralische Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und behandeltes Saatgut, muss auf ein Minimum beschränkt werden.

Die klassischen, intensiven, auf Maximalertrag ausgerichteten Produktionssysteme, die sich an den Obergrenzen des erlaubten Einsatzes an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln orientieren, werden extensiveren, energieeffizienteren Systemen weichen müssen.

## 2 Problemstellung

Energie, Energieeinsatz und Energieeffizienz sind Worte, die aus dem alltäglichen Sprachgebrauch nicht mehr wegzudenken sind. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, entwickelt sich der Produktionsfaktor Energie auch in der Landwirtschaft zum entscheidenden Problem. Waren in der Vergangenheit Schadstoffe und die Klimaerwärmung die größten Problemfaktoren, so wird in naher Zukunft die Energieknappheit zum Treibenden Kostenfaktor und zum wesentlichen Problem der Landwirtschaft (Narodoslawsky 2007 zitiert in Moitzi 2012).

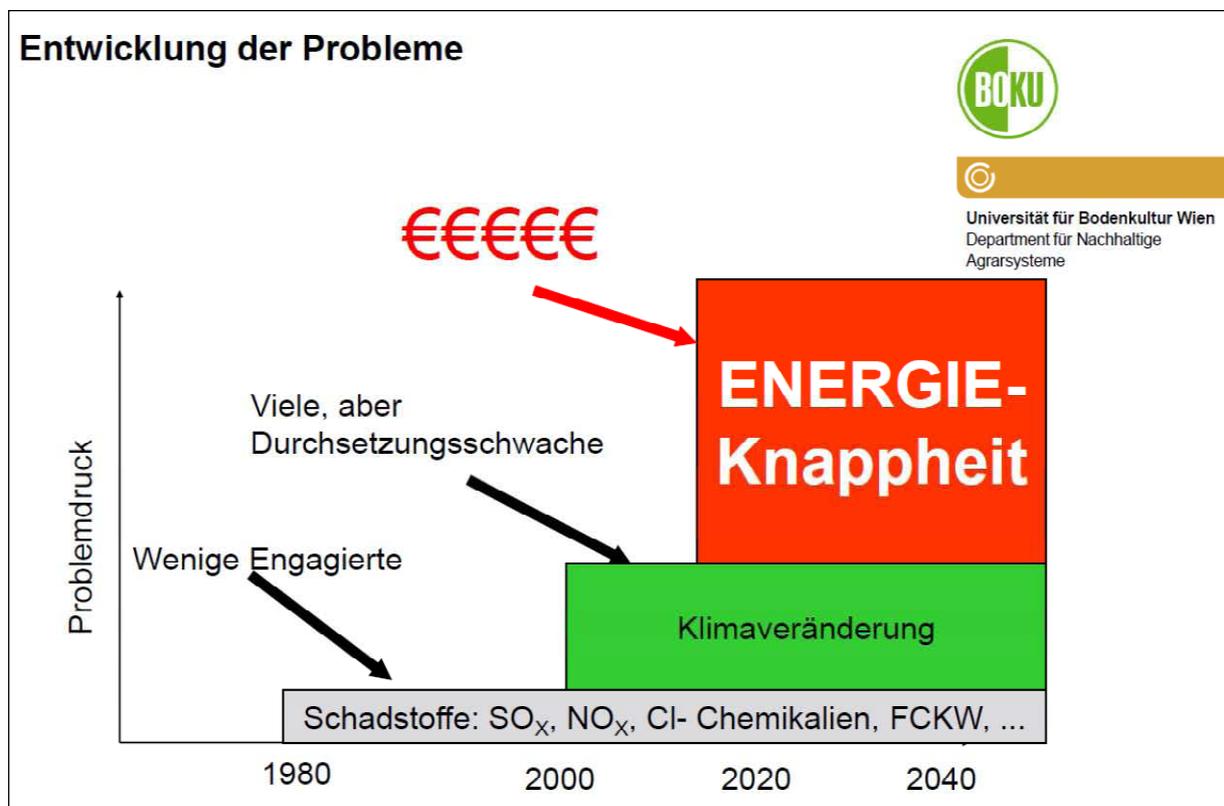


Abbildung 1: Entwicklung der Probleme in der Landwirtschaft (Quelle: LV Unterlagen Technik in der ÖLW, Moitzi 2012)

Die Bedeutung von Energieeffizienz äußert sich in verschiedenen Zielen. So steht neben dem Energiesparen an sich, was eine Kostenreduktion nach sich zieht, auch eine gesamtwirtschaftliche Kostenreduktion durch geringere Energieimporte, die Schonung von begrenzten fossilen Ressourcen, die Verringerung von Abhängigkeiten zu unsicheren Förderländern und die Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen, im Fokus (BARDT 2007).

Am Versuchsstandort Wagna in der Südsteiermark werden eine konventionelle und eine biologische Fruchtfolge direkt nebeneinander angebaut. Das ist für Österreich so gut wie

einzigartig und hat im Bereich der ökonomischen Bewertung der Fruchtfolgen bereits wesentliche Erkenntnisse für den Bereich der Südsteiermark gebracht (ROBIER 2013).

Eine betriebswirtschaftlich Bewertung auf Basis einer Vollkostenrechnung ergibt am Standort Wagna einen Vorteil für die biologische Wirtschaftsweise (KÖSTENBAUER 2013).

HOEPPNER et. al. (2005) kommen zum Schluss, dass der Einsatz mineralischer Düngemittel als der Hauptfaktor für die wesentlichen Unterschiede im Energieeinsatz zwischen konventioneller und biologischer Wirtschaftsweise angesehen werden muss. Der Anteil der Düngemittel am gesamten Energieaufwand der konventionellen Bewirtschaftung wird mit 51% angegeben. Im Vergleich der konventionellen zur biologischen Wirtschaftsweise, war über den Versuchszeitraum von 12 Jahren (1992 – 2003), der Energieoutput in Form des Ertrages bei konventioneller Bewirtschaftung um 40% höher.

Die Bewertung des Faktors Energie mittels Energiebilanzierungsmodell nach HÜLSBERGEN (2003) sollte der nächste Schritt sein, um den Energieeinsatz und die Energieeffizienz der konventionellen und der biologischen Fruchtfolge am Standort Wagna in der Südsteiermark besser vergleichen zu können und Aussagen auf Basis dieser energetischen Bewertung auf den Bereich des Leibnitzer Feldes umlegen zu können.

Die klimatischen Verhältnisse der Südsteiermark bieten für den Maisanbau besonders gute Voraussetzungen. Aufgrund dieser Tatsache wird in der angebauten Fruchtfolge am Standort Wagna, auch ein Maisanteil von 50% verwendet. Eine weitere wichtige Kulturart für die Südsteiermark stellt der steirische Ölkürbis dar, der mit 25% ebenso wie Triticale mit 25% angebaut wird (ROBIER 2012).

In der vorhandenen Literatur werden andere Fruchtfolgen herangezogen. So verwenden HOEPPNER et. al. (2005) eine viergliedrige Fruchtfolge aus Weizen-Erbse-Weizen-Flachs bzw. Weizen-Luzerne-Luzerne-Flachs, HÜLSBERGEN (2008) bewertet den Anbau von Winterweizen und MOITZI et. al. (2013) bewerten den Anbau von Körnermais.

HÜLSBERGEN (2003) legt in seiner Habilitationsschrift dar, dass die Energieeffizienz unterschiedlicher Fruchtartengruppen deutliche Unterschiede aufweist. Auf die pflanzliche

Primärproduktion ist dabei eine günstige energetische Situation im extensiven Grünland und eine ungünstige bei den Hackfrüchten, gegeben.

Denn biologisch bewirtschafteten Systemen wird ein systemorientierter Ansatz der Kreislaufwirtschaft, mit dem hierfür notwendigen Tierbesatz, unterstellt (HÜLSBERGEN 2003). Organische Dünger in Form von Festmist oder Gülle werden bei diesen Systemen als Kuppelprodukte betrachtet und nur der energetische Aufwand beim Transport und der Ausbringung betrachtet, nicht aber der Energieinhalt der Düngemittel selbst. Am Standort Wagna stellt sich aber das gegenteilige Bild dar. Im Bereich der Südsteiermark wird vor allem Schweinemast betrieben, die aber nur in den seltensten Fällen nach biologischen Richtlinien durchgeführt wird. In der konventionellen Variante wird Schweinegülle als Ersatz für mineralische Düngemittel eingesetzt, in der biologischen Variante nicht, da kein Betrieb verfügbar ist, der biologische Schweinemast betreibt (ROBIER 2013).

Die Berechnungen von HÜLSBERGEN (2003) und HOEPPNER et. al. (2005) dienen als Vergleichsgrundlage. Wenngleich der Standort Wagna nicht in allen Details mit den angeführten Versuchen zu vergleichen ist. In den Vergleichsversuchen schnitt die biologische Fruchtfolge auf Basis des Energieeinsatzes und auch der Energieeffizienz signifikant besser ab. Der Netto-Energieertrag hingegen war wesentlich geringer.

Durch die beschriebenen, besonderen Voraussetzungen des Standortes stellt sich die Frage, ob ein standardisiertes Bilanzierungsmodell eingesetzt werden kann. HÜLSBERGEN (2003) geht in seiner Habilitationsschrift davon aus, dass auf jeden Standort im speziellen eingegangen werden muss, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Auch HÜLSBERGEN (2003) geht davon aus, dass Energiebilanzen im Bereich des Pflanzenbaus nach verschiedenen methodischen Ansätzen, entsprechend der jeweiligen Zielsetzung, erstellt werden müssen und bisher keine Standardmethodik vorliegt. Auf Basis dieser Erklärung wird der Vergleich von Untersuchungsergebnissen erschwert. Er erfordert eine detaillierte Darlegung der jeweiligen methodischen Grundlagen.

In der vorliegenden Arbeit könnte es zu Schwierigkeiten bei der Bewertung des Energieeinsatzes am Standort Wagna, durch die folgenden Grundvoraussetzungen kommen:

- Der Versuchsstandort liegt im Wasserschutzgebiet des Leibnitzer Feldes, auf seichtgründigen, wenig speicherfähigen Böden. Somit kann nur minimale (mineralische) Düngung eingesetzt werden. Die Unterschiede im Energieinput zwischen (meist intensiver) konventioneller und (tendenziell extensiver) biologischen Bewirtschaftung werden dadurch geringer.
- Weil kein Lieferant für biologische Schweinegülle vorhanden ist, kommt nur auf den konventionellen Flächen Gölledüngung zum Einsatz.
- Bei der biologischen Bewirtschaftung wird versucht über eine möglichst ganzjährige Dauerbegrünung Erosion bzw. Auswaschungsverluste von Nährstoffen zu vermeiden und das Wachstum von Beikräutern zu minimieren.

### 3 Zielsetzung

Mit der vorliegenden Arbeit soll überprüft werden, ob die biologische Wirtschaftsweise auf dem Standort Wagna in der Südsteiermark, gegenüber der konventionellen Wirtschaftsweise zu einem positiven Ergebnis auf Basis des Energieeinsatzes und der Energieeffizienz führt.

Wie unterscheidet sich der direkte Energieaufwand (Dieselkraftstoff für die Feldarbeitsgänge und Transport, Heizöl und Strom für die Trocknung) bei den unterschiedlichen Kulturen der konventionellen und biologischen Fruchtfolge.

Wie unterscheidet sich der indirekte Energieaufwand (Energieaufwand bei der Produktion von Düngemitteln, Saatgut, Pflanzenschutzmitteln und Maschinen) bei den unterschiedlichen Kulturen der konventionellen und biologischen Fruchtfolge.

Wie unterschieden sich die Erträge der unterschiedlichen Kulturen der konventionellen und biologischen Fruchtfolge.

Wie unterscheidet sich die Energiebilanz der konventionellen und biologischen Fruchtfolge.

Wie unterscheiden sich die energetischen Kennzahlen (Output/Input-Verhältnis, Energieintensität, Netto-Energiebilanz) der konventionellen und biologischen Fruchtfolge.

Nach der Identifizierung der entscheidenden Faktoren für das Bilanzierungsmodell soll dieses den notwendigen Adaptierungen unterzogen werden, um aussagekräftige Ergebnisse über den Vergleich der konventionellen und der ökologischen Fruchtfolge am Standort Wagna, treffen zu können.

## 4 Material und Methoden

Das Datenmaterial, auf dessen Basis die Berechnungen des Energieeinsatzes und der Energieeffizienz durchgeführt wurden, stammt vom Versuchsreferat Steiermark (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK 2010, 2011, 2012). Das Versuchsreferat betreut seit 25 Jahren einen Großparzellenversuch in Wagna, in der Südsteiermark, auf dem seit 2004 auch der Vergleich von konventionellen zu biologischen Fruchtfolgen durchgeführt wird.

Anfangs wurde am Standort Wagna versucht Lösungen für das Problem der hohen Nitratgehalte im Grundwasser des Leibnitzer Feldes zu finden. Aus diesem Grund wurden Düngungsversuche durchgeführt und eine Lysimeterstation eingerichtet, um die Auswaschung von Stickstoff in das Grundwasser zu überwachen.

Von 1987 bis 1998 wurde die Maismonokultur mit Düngungshöhen zwischen 120 und 175 kg N pro Hektar und Jahr mit der viergliedrigen Fruchtfolge Mais – Mais – Getreide – Raps verglichen. Dabei wurden sowohl Herbst- als auch Frühjahrsackerungen beobachtet.

Von 1998 bis 2004 wurde die Fruchtfolge auf eine, für die Südsteiermark typischere, ebenfalls viergliedrige Fruchtfolge mit Mais – Mais – Getreide – Ölkürbis umgestellt. Dabei wurde mit reduzierten Stickstoffgaben und ohne Herbstgülleausbringung gearbeitet.

Seit 2004 besteht nun der aktuelle Versuch, bei dem jeweils eine viergliedrige Fruchtfolge einmal nach biologischen Richtlinien und einmal konventionell bewirtschaftet wird.

Bis zum Jahr 2009 wurden in der biologischen Bewirtschaftung über den Zeitraum eines gesamten Jahres Leguminosen angebaut, was aber durch das aufgrund der Stickstoffakkumulation und somit erhöhtem Stickstoffangebot, bei den sehr durchlässigen, sandigen Böden, zur Problematik eines erhöhten Stickstoffaustrages ins Grundwasser geführt hat.

Seit dem Jahr 2010 wird aus diesem Grund nur noch mit Zwischenfruchtanbau und Untersaaten gearbeitet. Die viergliedrige Fruchtfolge mit den Fruchtfolgegliedern Mais – Mais – Getreide – Ölkürbis wurde beibehalten. Im Jahr 2011 wurde diese dahingehend optimiert, dass nicht zwei Jahre hintereinander Mais angebaut wird. Die aktuelle Fruchtfolge seit dem Jahr 2011 ist nun: Mais – Getreide – Mais – Ölkürbis.

In den vorliegenden Aufzeichnungen wurden sowohl alle Bearbeitungsschritte im Jahresverlauf, die Mengen an eingesetzten Betriebsmitteln (Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel), sowie die Erträge, festgehalten.

## 4.1 Standort Wagna

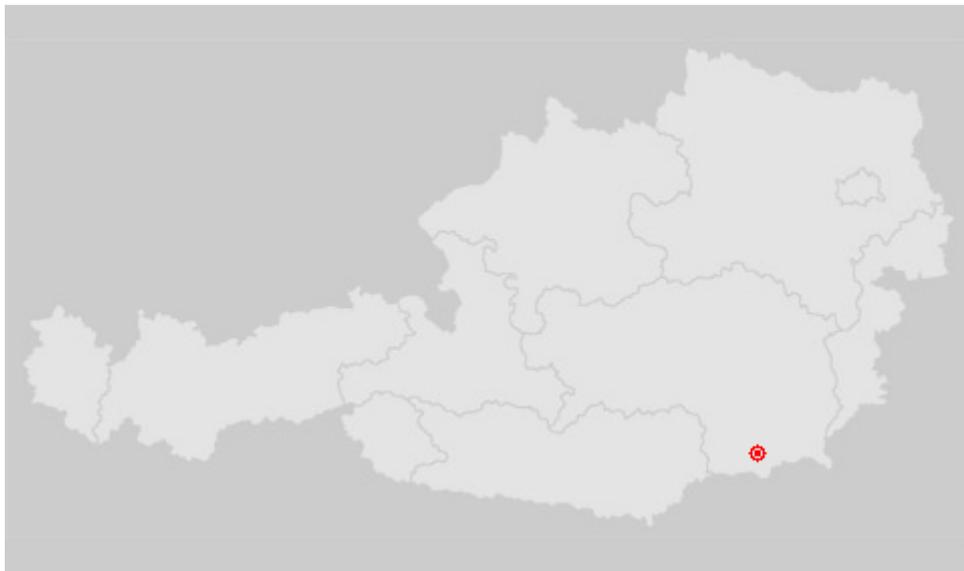
### 4.1.1 Lage des Versuchsstandortes

Der Versuchsstandort Wagna liegt im zentralen Leibnitzer Feld in der Südsteiermark. In Abbildung 2 ist der Standort mit dem Roten Punkt markiert.

Die Koordinaten von Wagna sind:

46.766° Breite

15.557° Länge



**Abbildung 2: Versuchsstandort Wagna auf der Österreichkarte (Quelle: <http://www.austria-navigator.de/karte/1994.jpg>)**

## 4.1.2 Übersicht über den Versuchsstandort Wagna

In Abbildung 3 ist der Versuchsstandort Wagna auf einem Luftbild (Quelle: Google Maps) ersichtlich. Im linken Bereich des Bildes ist im roten Rahmen der Großparzellenversuch zu sehen. Durch die farbliche Abstufung sind hier auch schon die unterschiedlichen Fruchtfolgeglieder sichtbar. Rechts davon befinden sich weitere Versuche, wie der Stickstoffsteigerungsversuch bei Mais und der Ölkürbis Sortenversuch, welche auf kleineren Parzellen kultiviert werden.

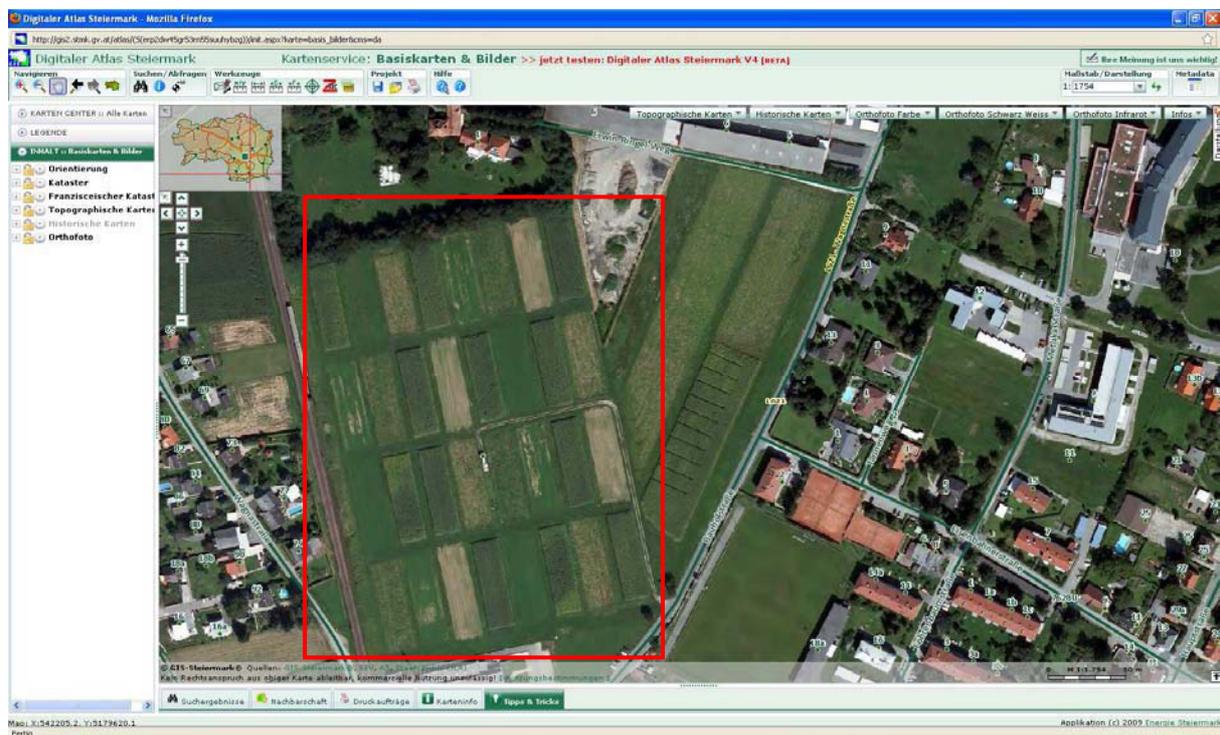


Abbildung 3: Versuchsstandort Wagna auf einem Satellitenbild (Quelle: GIS Steiermark)

### **4.1.3 Geschichte des Versuchsstandortes**

Auf Basis des Versuchsberichtes 2011 des Versuchsreferats Steiermark, können die geschichtlichen Hintergründe der Entstehung des Versuchsstandortes Wagna, wie folgt erklärt werden.

Im Jahr 1985 wurde auf Anregung der örtlichen Partei der Grünen/Alternativen die Diskussion über die stark gestiegenen Nitratwerte im Grundwasser der Stadt Leibnitz und deren Umgebung initiiert. Auf ein von Wetterkapriolen und starker Trockenheit, sowie der dadurch bedingten Missernten, geprägtes Jahr 1983, folgte ein hoher Anstieg im Grundwasser bis zum Jahr 1985. Die Verantwortlichen wurden in der Landwirtschaft gesucht und gefunden.

Die zuständigen Politiker wurden dazu gedrängt Maßnahmen gegen diese Entwicklung zu setzen. Landesrat Schaller lies in weiterer Folge den Großparzellenversuch in Wagna auf den Flächen des Landes Steiermark anlegen. Das Versuchsfeld besteht aus 32 Parzellen mit jeweils 1000 m<sup>2</sup>. Durchgeführt wurde das vom landwirtschaftlichen Versuchswesen unter der Leitung von Prof. Ing. Deutsch. Ziel war es durch die Versuche wieder eine Möglichkeit zu finden die Nitratgehalte im Grundwasser zu normalisieren.

Im Jahr 1992 wurde dann der erste Lysimeter auf dem Versuchsfeld errichtet. Auf den 32 Parzellen rotiert die jeweilige Fruchtfolge. Anfänglich mit Mais – Mais – Getreide – Winterraps, später auch mit Ölkürbis. Es wurden Versuche bei der Düngungshöhe bei Mais von 120 kg N/ha bis 175 kg N/ha gegenübergestellt.

Die einzelnen Kulturen wurden gegenübergestellt und die Kulturführung auf ihre Grundwasserverträglichkeit geprüft.

Ziel war es durch die Zusammenarbeit mehrerer wissenschaftlicher Einrichtungen und den Trinkwasserversorgern die Qualität des Grundwassers zu erhöhen. Bei den Institutionen sind unter anderem das Land Steiermark, die Weinbauschule Silberberg, das Joanneum Research, das Landwirtschaftliche Versuchszentrum Haidegg, das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, der Maschinenring Leibnitz und die Universitäten des Landes, zu nennen.

#### **4.1.4 Die natürlichen Voraussetzungen am Versuchsfeld Wagna:**

Die natürlichen Voraussetzungen betreffend Klima und Bodenverhältnissen entsprechen weitestgehend den Verhältnissen der Wassereinzugsgebiete im Murtal (von Graz bis Radkersburg). Der Großparzellenversuch Wagna liegt im Grundwasserschongebiet des Leibnitzer Feldes, was zu Einschränkungen bei der Düngung führt, welche nach den Richtlinien der sachgerechten Düngung (BMLFUW 2006) durchgeführt wird.

##### **4.1.4.1 Böden**

Bei den Böden handelt es sich um sehr durchlässige Lockersedimentbraunerde. Das Versuchsfeld liegt auf den seichtgründigen Schotterterrassen des Leibnitzer Feldes. Über die 32 Versuchspartzellen enthält der Boden einen sehr hohen Sandanteil von etwa 51,8%, 14,6% Ton und 33,6% Schluff. Der Humusgehalt schwankt zwischen 1,3 und 2,4%. Die Mächtigkeit des Feinbodens beträgt zwischen 25 und 150 cm.

Die leichten Böden mit geringem Wasserspeichervermögen neigen, bei hohen Niederschlägen und hohem N-Vorrat im Boden, zur Nitratauswaschung.(ROBIER, 2012).

Zur Bewertung des Bodens liegt eine Bodenanalyse aus dem Jahr 2008 vor, wobei jede Parzelle einzeln analysiert wurde.

Betrachtet man als Beispiel Abbildung 4, so erhält man Informationen über die Parzelle 1.

Pflanzenverfügbares Phosphor und Kalium liegen mit 81 mg / 1000 g Feinboden Phosphor und 136 mg / 1000 g Feinboden Kalium in der Gehaltsstufe C. Der Humusgehalt liegt mit 2% im mittleren Bereich und der pH-Wert liegt mit 6,3 im schwach sauren Bereich.

Probennahme: September/Oktober 2008

bezogen auf lufttrockenen Feinboden sind enthalten		1 GPV-Silberberg 7946		A sehr niedrig	B niedrig	C ausreichend	D hoch	E sehr hoch
Phosphor pflanzenverfügbar	mg/1000g	81	C ausreichend					
Kalium pflanzenverfügbar	mg/1000g	136	C ausreichend					
Magnesium pflanzenverfügbar	mg/1000g	78	C ausreichend					
Bor löslich	mg/1000g	0,6	C ausreichend					
Kupfer löslich	mg/1000g	4,1	B niedrig					
Zink löslich	mg/1000g	4,1	B niedrig					
Mangan löslich	mg/1000g	142	D hoch					
Eisen löslich	mg/1000g	251	D hoch					
Humus	%	2,0	mittel					
K : Mg Verhältnis		1,74	: 1					
pH-Wert in Calciumchlorid		6,3	schwach sauer					
pH-Wert in Azetat für Aufkalkung		6,7						
Aufkalkung auf Ziel pH 6,5	dt CaO/ha	6,6						
Carbonat	g/100g	0,4						
Stickstoff n. Kjeldahl	g/100g	0,15						
C org.	g/100g	1,16						
C:N Verhältnis		7,7						
aust. Calcium	cmol+/kg	10,4						
aust. Kalium	cmol+/kg	0,44						
aust. Magnesium	cmol+/kg	0,9						
aust. Natrium	cmol+/kg	0,04						
Summe der Kationen	cmol+/kg	11,78						

Abbildung 4: Bodenanalyse der Parzelle 1 des Großparzellenversuches Wagna (exemplarisch für alle 32 Parzellen)

#### 4.1.4.2 Klimadaten

Die Klimadaten (Abbildung 6 bis 10) stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien (ZAMG) und wurden bereits vom Versuchsreferat Steiermark für die Versuchsberichte aufbereitet (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK 2011, 2012, 2013).

## Versuchsjahr 2010

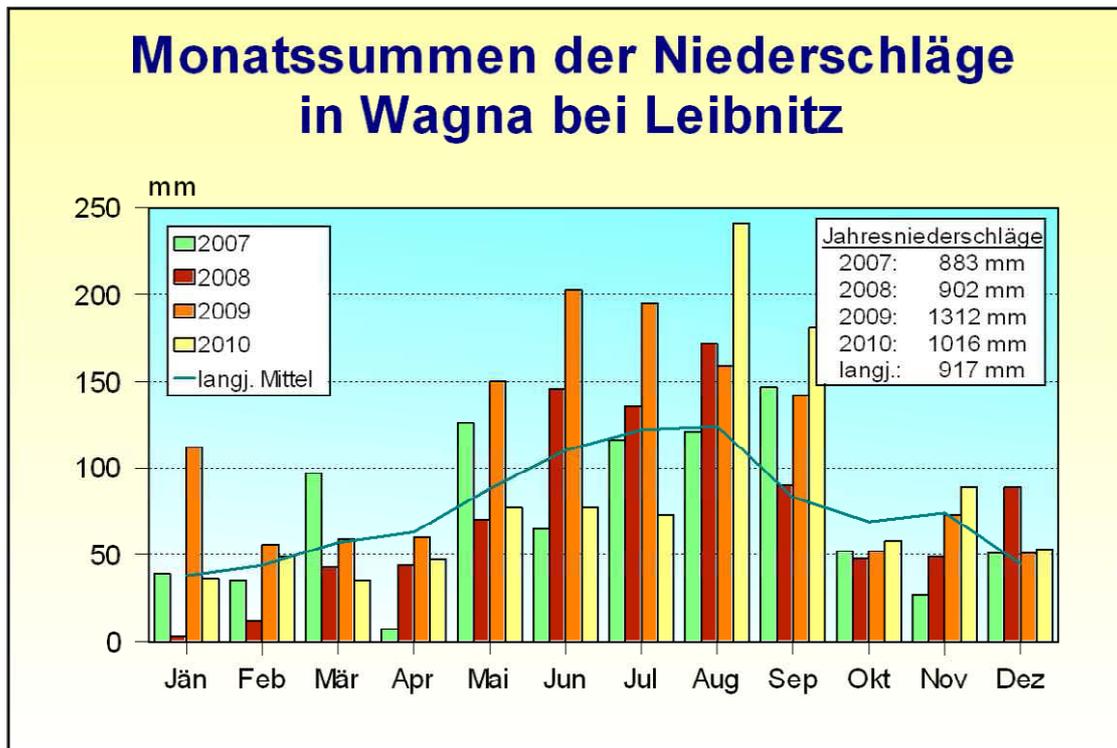


Abbildung 5: Niederschlagsverteilung des Jahres 2010 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark)

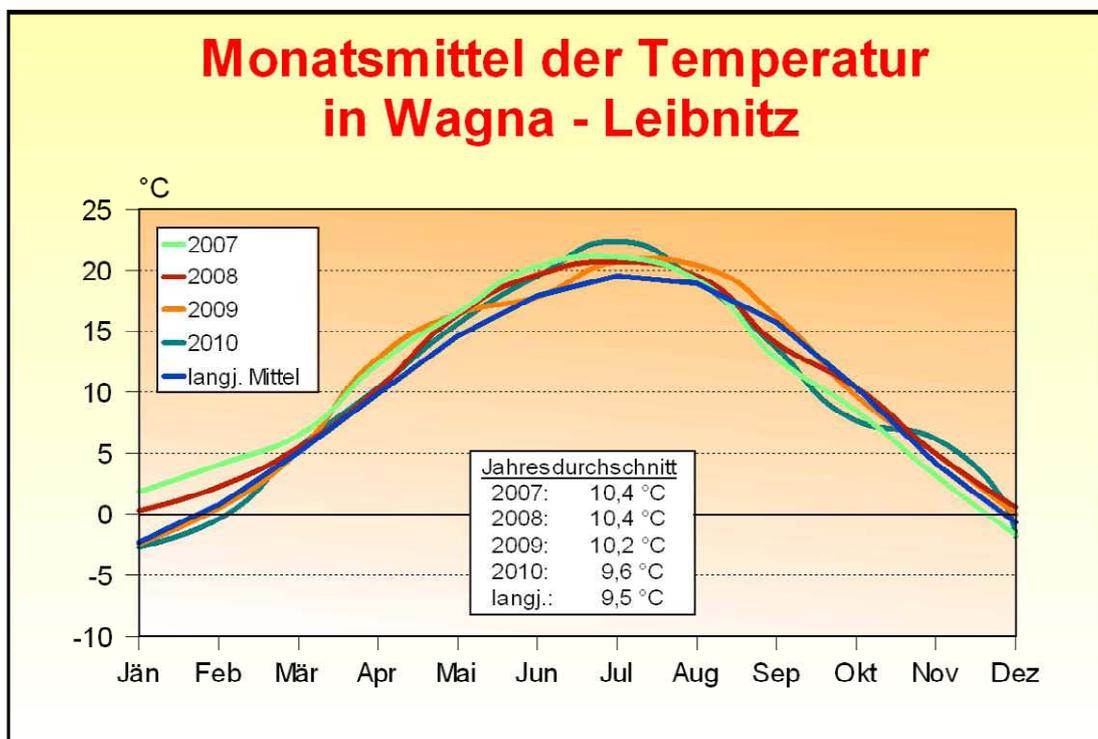


Abbildung 6: Temperaturverlauf des Jahres 2010 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark)

# Versuchsjahr 2011

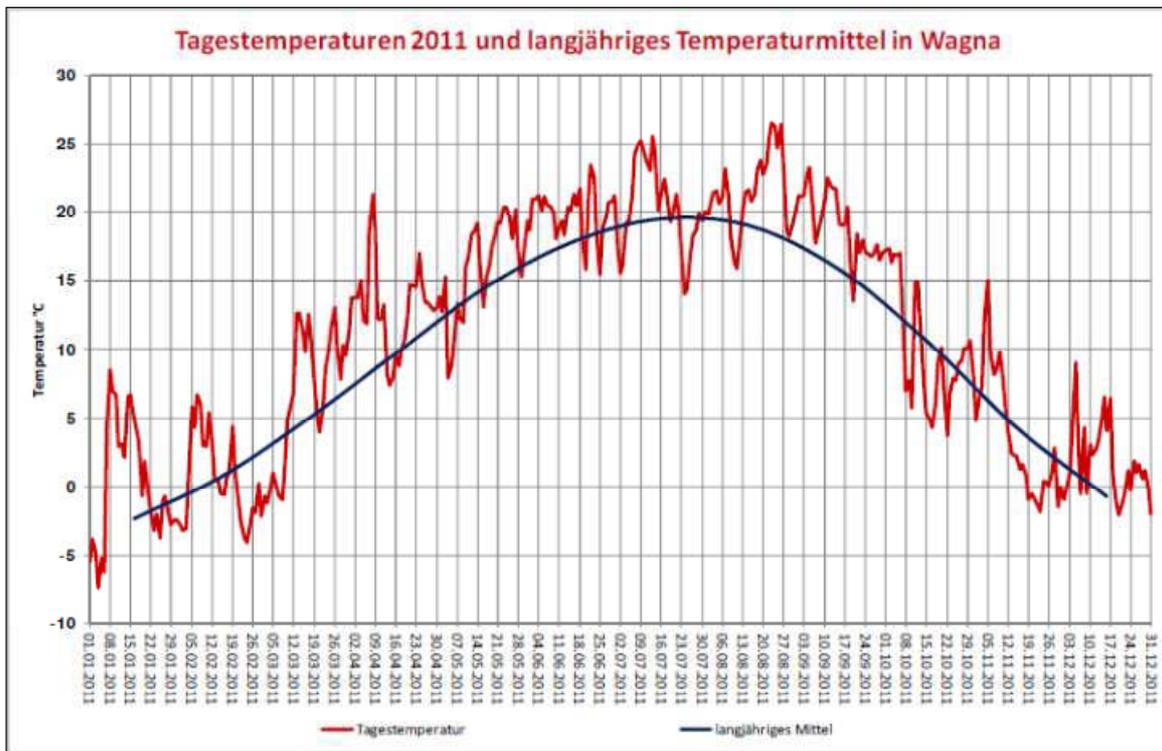


Abbildung 7: Temperaturverlauf des Jahres 2011 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark)

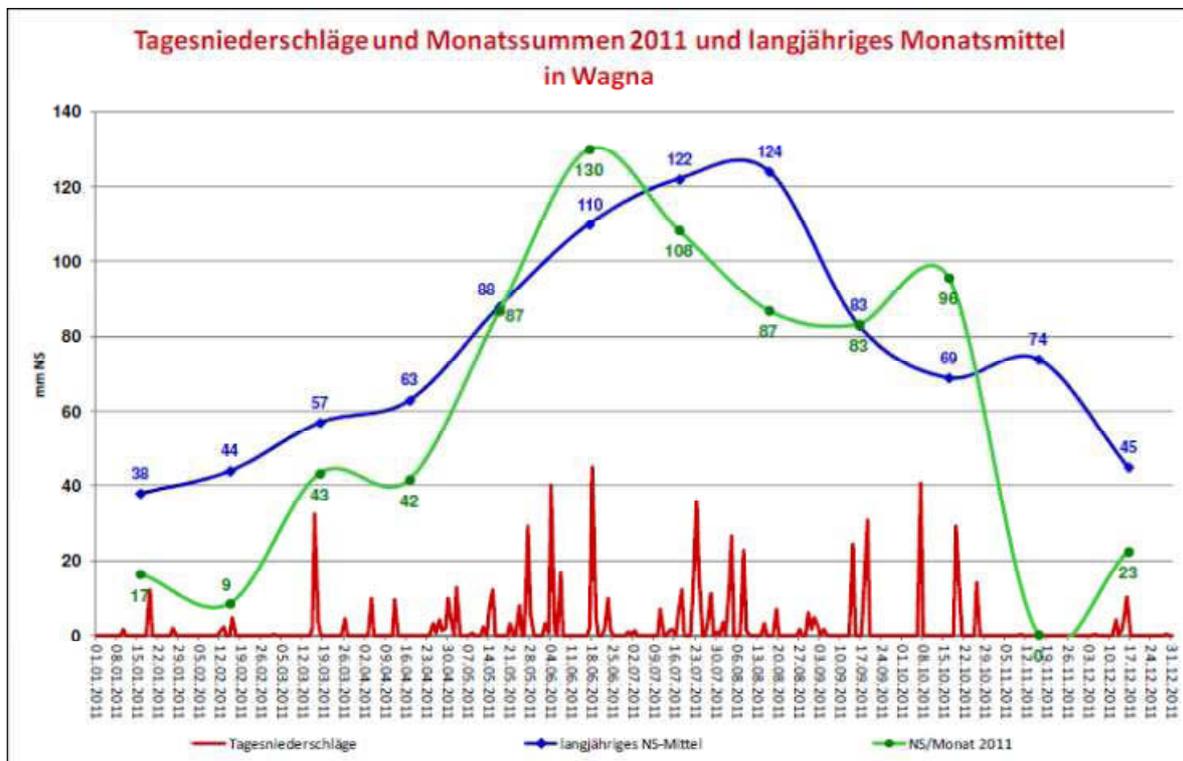


Abbildung 8: Niederschlagsverteilung des Jahres 2011 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark)

## Versuchsjahr 2012

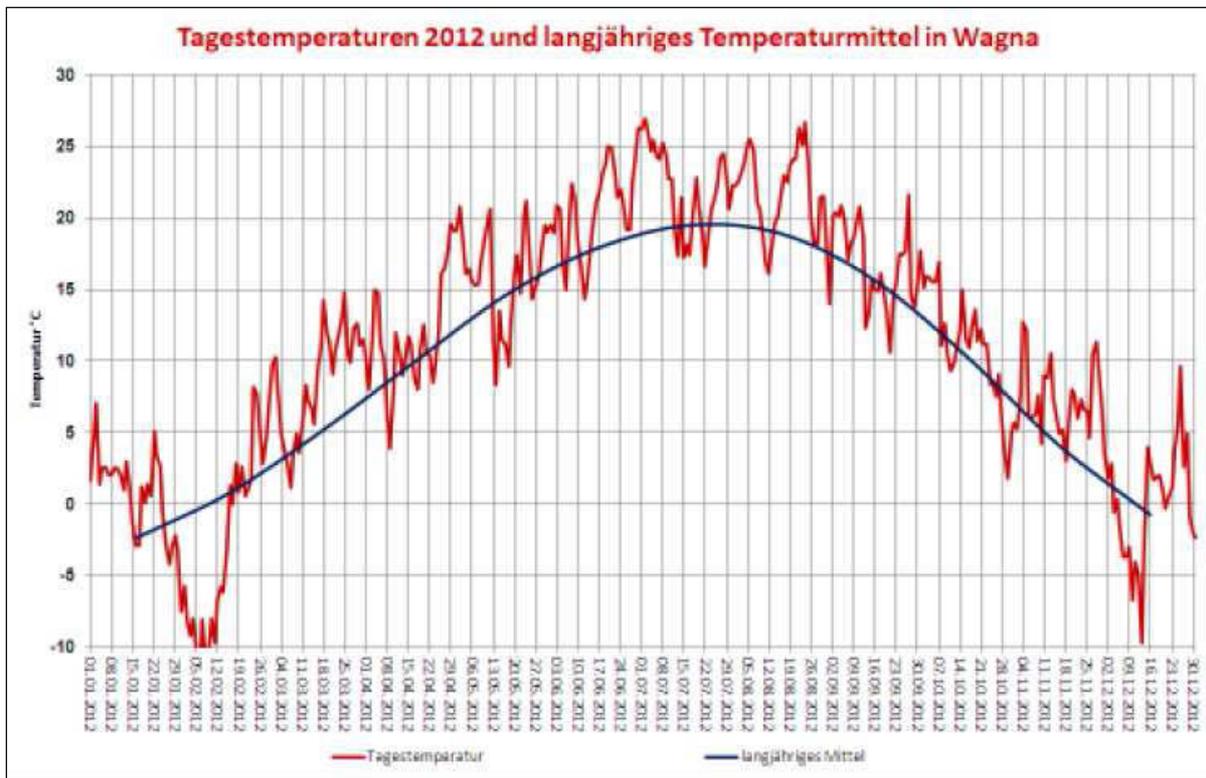


Abbildung 9: Temperaturverlauf des Jahres 2012 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark)

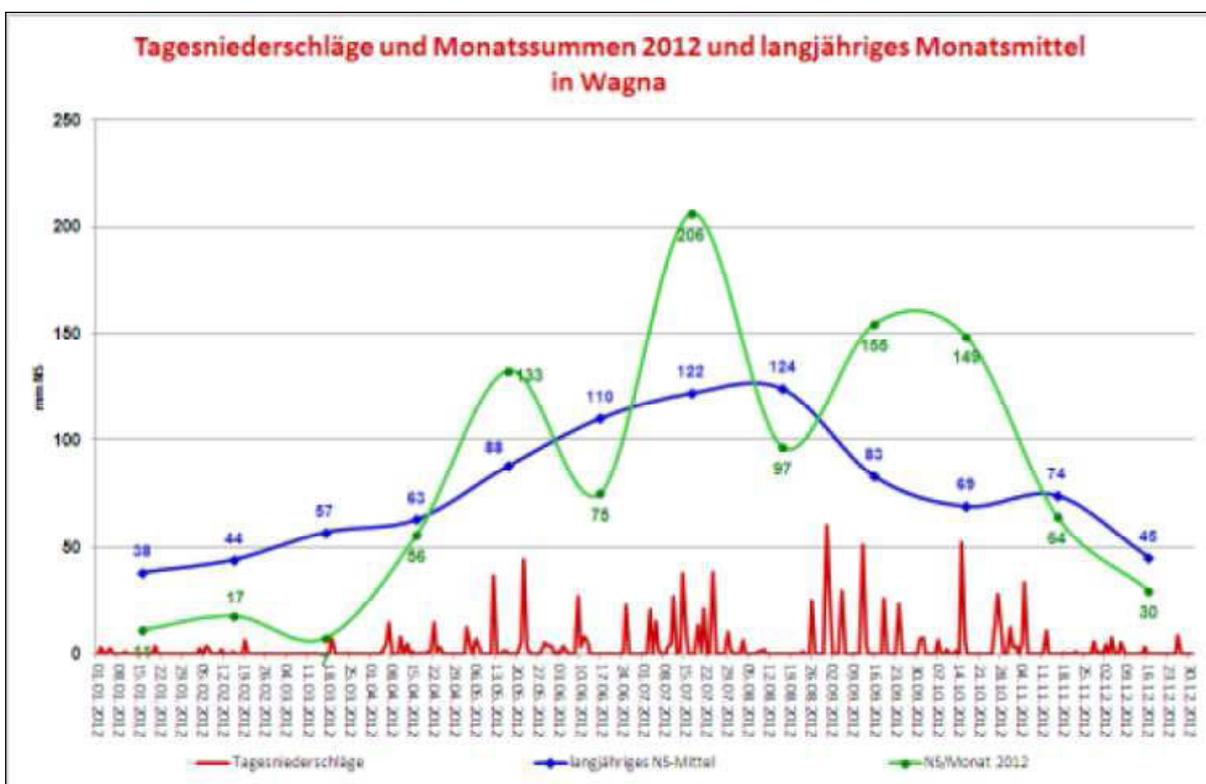


Abbildung 10: Niederschlagsverteilung des Jahres 2012 im Monatsverlauf am Versuchsstandort Wagna (Quelle: Versuchsreferat Steiermark)

## 4.2 Versuchsaufbau

Der Großparzellenversuch besteht aus 32 Parzellen mit einer Größe von jeweils ca. 1000 m<sup>2</sup> die bewirtschaftet werden. Die genauen Abmessungen der einzelnen Parzellen sind 56 mal 18 Meter, was einer Gesamtfläche von 1008 m<sup>2</sup> entspricht. Parzellen werden etwas größer angelegt und jedes Jahr nach dem Anbau händisch auf die gewünschten 1000 m<sup>2</sup> reduziert und für eine exakte Berechnung des Ertrages pro Hektar auch jährlich genau ausgemessen (Abbildung 11 bis 12)



**Abbildung 11: Entfernen der überschüssigen angebauten Getreidepflanzen um die exakte Fläche von 1000 m<sup>2</sup> für die weiteren Hochrechnungen zu erhalten (Foto: J. Robier/Versuchsreferat Steiermark)**



**Abbildung 12: Entfernen der überschüssigen angebauten Maispflanzen um die exakte Fläche von 1000 m<sup>2</sup> für die weiteren Hochrechnungen zu erhalten (Foto: J. Robier/Versuchsreferat Steiermark)**

In der jeweiligen Wiederholung sind die Parzellen durch einen Puffer von 10 Metern in der eigenen Fruchtfolge und vier Metern zur nächsten Wiederholung bzw. Fruchtfolge, getrennt. nach zwei Fruchtfolgegliedern befindet sich ein ebenfalls 10 Meter breiter Bereich mit einem Fahrweg.

Details über die Verteilung der Parzellen und deren Maße sind in Abbildung 13 ersichtlich.

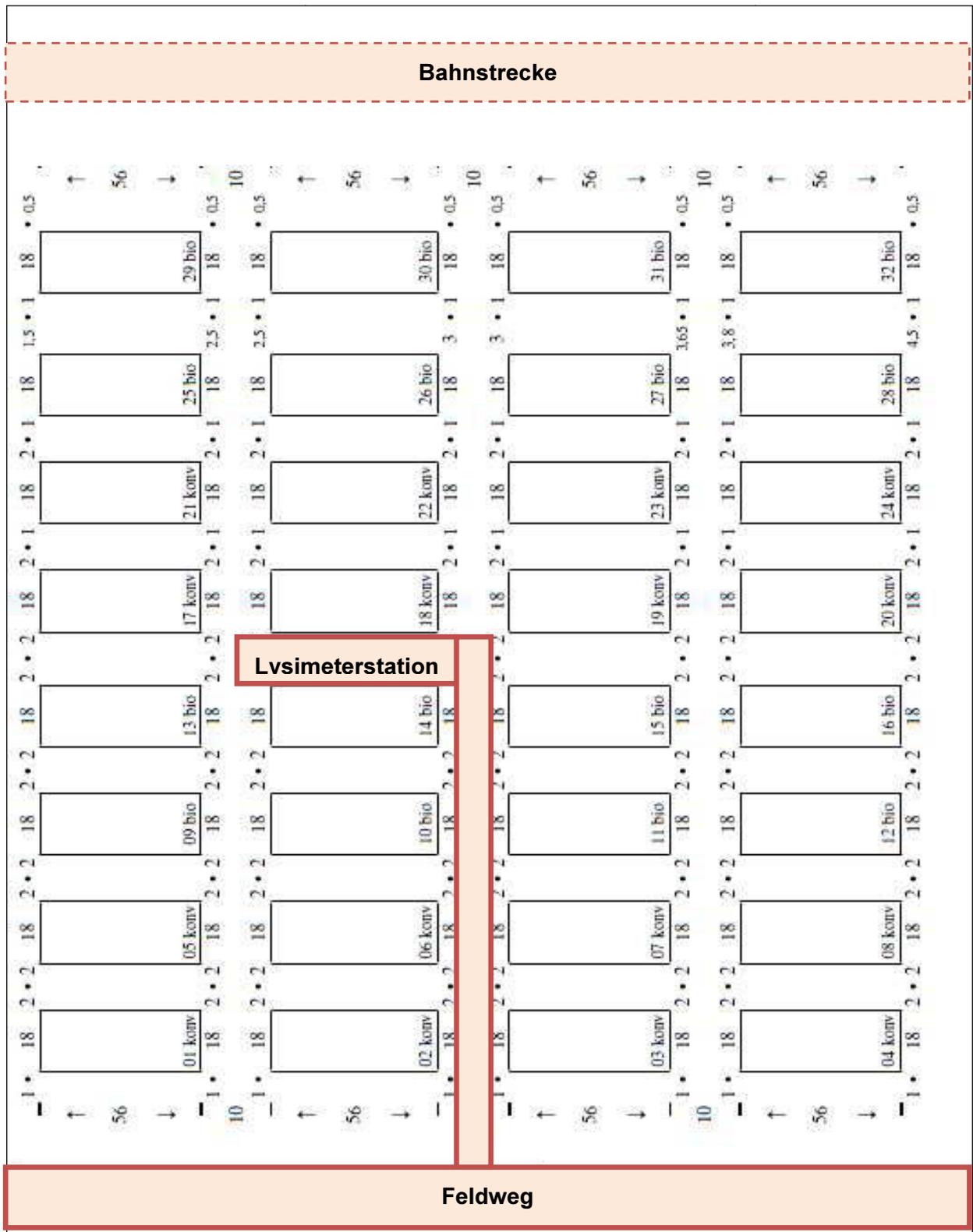


Abbildung 13: Übersicht über den Versuchsaufbau am Großparzellenversuch Wagna (Skizze)

Die 32 Parzellen des Versuchsfeldes teilen sich zu gleichen Teilen auf die beiden Fruchtfolgen für biologischen und konventionellen Anbau (jeweils 16 Parzellen).

Die 16 Parzellen je Fruchtfolge teilen sich wiederum in die vier Fruchtfolgeglieder. Jede Fruchtfolge ist in vierfacher Wiederholung angelegt um etwaige Standort- oder Bodeneinflüsse ausschließen zu können.

Zur Veranschaulichung dient Abbildung 14, in welcher die Parzellennummern den jeweiligen Fruchtfolgewedholungen zugeordnet sind.

Variante/Wiederholung					
	Bahnstrecke				
Biologisch/4	29	30	Fahrweg	31	32
Biologisch/3	25	26		27	28
Konventionell/4	21	22		23	24
Konventionell/3	17	18		19	20
	Lysimeter				
Biologisch/2	13	14		15	16
Biologisch/1	9	10		11	12
Konventionell/2	5	6		7	8
Konventionell/1	1	2		3	4
	Fahrweg				

**Abbildung 14: Übersicht über die Verteilung der Parzellen und der Bewirtschaftungsmodelle am Versuchsstandort Wagna**

Die Parzellen und Varianten sind wie in Abbildung 14 angegeben fixiert. Somit findet der konventionelle Anbau immer auf den Parzellen 1 bis 8 und 17 bis 24 und der Anbau nach biologischen Richtlinien auf den Parzellen 9 bis 16 und 25 bis 32 statt.

Die genaue Verteilung der Fruchtfolge auf die einzelnen Parzellen ist im Kapitel Fruchtfolge ersichtlich.

Der Großparzellenversuch wird seit 1987 bewirtschaftet, wohingegen der vergleichende Versuch zwischen biologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen wird erst seit 2004 durchgeführt.

**Die Nutzung des Großparzellenversuches seit 1987 sieht wie folgt aus:**

1987 – 1998	Maismonokultur mit den Düngungshöhen 120 N/ha und 175 N/ha Fruchtfolge Mais-Mais-Getreide-Raps im Vergleich mit Herbst- und Frühlingsackerung
1998 – 2004	Fruchtfolge Mais-Mais-Getreide-Ölkürbis mit reduzierter Stickstoffgabe ohne Herbstgülleausbringung
2004 – 2012	Vergleich einer konventionellen und biologischen Fruchtfolge

Zum Großparzellenversuch mit der Lysimeteranlage wurden zur Beantwortung von Detailfragen auch Kleinparzellenversuche auf den Flächen angelegt.

Sowohl der Großparzellenversuch als auch die Kleinparzellen sind im Kapitel *4.1.2 Übersicht über den Versuchsstandort Wagna* auf Abbildung 3 ersichtlich.

### 4.3 Fruchtfolge

Die Aufgabe einer nachhaltigen Fruchtfolge ist die Erfüllung der Ertragsfunktion, der phytosanitären Funktion, der Ressourcenschutzfunktion, der Landeskulturellen Funktion und der Betriebswirtschaftlichen Funktion (FREYER 2003).

Am Großparzellenversuch Wagna gibt es eine viergliedrige Fruchtfolge. Diese Fruchtfolglieder sind: zweimal Körnermais, Triticale und Kürbis. Die Fruchtfolge ist sowohl für biologische als auch für konventionelle Bewirtschaftung dieselbe und wird jeweils in vier Wiederholungen angelegt. Der wesentliche Unterschied der beiden Bewirtschaftungsweisen stellt der Einsatz von mineralischen Düngemitteln und Gülle zur Deckung des Nährstoffbedarfes und der Einsatz von synthetischen Pflanzenschutzmitteln in der konventionellen Bewirtschaftung dar. Bei der biologischen Bewirtschaftung wird der Nährstoffbedarf durch den Einsatz von Leguminosen im Zwischenfruchtanbau und in den Untersaaten gedeckt. Zur Beikrautregulierung werden mechanische Verfahren, wie Hacken und Striegeln, eingesetzt.

Für die Ziele des biologischen Landbaus scheint die Fruchtfolge nicht besonders gut gewählt, nachdem durch den hohen Anteil an Hackfrüchten sowohl auf Basis einer Humusbilanz als auch einer Nährstoffbilanz, eine Verarmung der Böden zu befürchten ist. In der vorliegenden Arbeit wurde das jedoch nicht überprüft.

Bis zum Jahr 2010 war die Fruchtfolge:

- Körnermais 1
- Körnermais 2
- Triticale
- Kürbis

Seit dem Jahr 2011 wurde sie umgestellt auf:

- Körnermais 1
- Triticale
- Körnermais 2
- Kürbis

Die Fruchtfolge verschiebt sich jedes Jahr um eine Position nach links bzw. nach rechts, um auf jeder einzelnen Parzelle innerhalb von 4 Jahren die gesamte Fruchtfolge zu durchlaufen.

Diese Verschiebung sieht wie folgt aus:

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4
<b>2010</b>	Körnermais 1	Triticale	Körnermais 2	Kürbis
<b>2011</b>	Triticale	Körnermais 2	Kürbis	Körnermais 1
<b>2012</b>	Körnermais 2	Kürbis	Körnermais 1	Triticale

### Fruchtfolge 2010

Aus Abbildung 15 kann man im Detail ablesen welche Kultur im Jahr 2010 auf der jeweiligen Parzelle kultiviert wurde. Es ist hier gut ersichtlich, dass in jeder Wiederholung (Konventionell 1, Konventionell 2, ...) immer alle vier Fruchtfolgeglieder in unterschiedlicher Anordnung vorhanden sind.

2010	Bahnstrecke								
Bio 4	29	KM1	30	KM2	Fahrweg	31	Kürbis	32	Getreide
Bio 3	25	Kürbis	26	Getreide		27	KM1	28	KM2
Konventionell 4	21	Kürbis	22	Getreide		23	KM2	24	KM1
Konventionell 3	17	KM2	18	KM1		19	Kürbis	20	Getreide
Lysimeter									
Bio 2	13	KM2	14	KM1		15	Getreide	16	Kürbis
Bio 1	9	Getreide	10	Kürbis		11	KM2	12	KM1
Konventionell 2	5	KM1	6	KM2		7	Getreide	8	Kürbis
Konventionell 1	1	Getreide	2	Kürbis		3	KM1	4	KM2
	Fahrweg								

**Abbildung 15: Angebaute Fruchtfolge auf den Parzellen am Versuchsstandort Wagna im Versuchsjahr 2010**

Legende:

KM1	Körnermais 1
KM2	Körnermais 2
Getreide	Triticale
Kürbis	Steirischer Ölkürbis

## Fruchtfolge 2011

2011	Bahnstrecke								
Bio 4	29	Getreide	30	Kürbis.	Fahrweg	31	KM1	32	KM2
Bio 3	25	KM1	26	KM2		27	Getreide	28	Kürbis.
Konventionell 4	21	KM1	22	KM2		23	Kürbis.	24	Getreide
Konventionell 3	17	Kürbis.	18	Getreide		19	KM1	20	KM2
Lysimeter									
Bio 2	13	Kürbis.	14	Getreide		15	KM2	16	KM1
Bio 1	9	KM2	10	KM1		11	Kürbis.	12	Getreide
Konventionell 2	5	Getreide	6	Kürbis.		7	KM2	8	KM1
Konventionell 1	1	KM2	2	KM1		3	Getreide	4	Kürbis.
	Fahrweg								

Abbildung 16: Angebaute Fruchtfolge auf den Parzellen am Versuchsstandort Wagna im Versuchsjahr 2011

## Fruchtfolge 2012

2012	Bahnstrecke								
Bio 4	29	KM2	30	KM1	Fahrweg	31	Getreide	32	Kürbis
Bio 3	25	Getreide	26	Kürbis		27	KM2	28	KM1
Konventionell 4	21	Getreide	22	Kürbis		23	KM1	24	KM2
Konventionell 3	17	KM1	18	KM2		19	Getreide	20	Kürbis
Lysimeter									
Bio 2	13	KM1	14	KM2		15	Kürbis	16	Getreide
Bio 1	9	Kürbis	10	Getreide		11	KM1	12	KM2
Konventionell 2	5	KM2	6	KM1		7	Kürbis	8	Getreide
Konventionell 1	1	Kürbis	2	Getreide		3	KM2	4	KM1
	Fahrweg								

Abbildung 17: Angebaute Fruchtfolge auf den Parzellen am Versuchsstandort Wagna im Versuchsjahr 2012

#### 4.4 Arbeitsgänge im Jahresverlauf

Auf jeder Parzelle wurden im jeweiligen Bewirtschaftungsjahr die erforderlichen Bearbeitungen durchgeführt, um ein adäquates Ergebnis in Form des Ernteertrages zu erhalten.

In den jeweils vier Wiederholungen wurde jedes Fruchtfolgeglied gleich bearbeitet. Somit ergeben sich acht unterschiedliche Bearbeitungsmodelle (jeweils vier in biologischer als auch vier in konventioneller Bewirtschaftungsweise) pro Jahr.

Die acht Bearbeitungsvarianten sind:

<b>Konventionell</b>	<b>Biologisch</b>
Körnermais 1	Körnermais 1
Körnermais 2	Körnermais 2
Getreide – Triticale	Getreide – Triticale
Kürbis	Kürbis

Auf die drei beobachteten Wirtschaftsjahre bezogen ergeben sich die nachfolgenden Arbeitsschritte je nach Bewirtschaftungsweise.

Erklärung der Abkürzungen die in Tabelle 1 – 3 Verwendung finden:

Die Düngung wird in die unterschiedlichen Nährstoffgruppen unterschieden. So gibt es jeweils eine eigene Zeile für die Düngung mit Gülle und Kalk, sowie für die drei Hauptnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K).

Der Anbau ist in drei Kategorien unterteilt, so wird unterschieden in den Anbau der Hauptkultur (Kultur), Anbau von Untersaaten (US) und den Anbau einer Zwischenfrucht (ZF).

Die restlichen Kategorien sind selbsterklärend gewählt.

## Bewirtschaftung 2010

In Tabelle 1 sind Details über die Bearbeitungszeitpunkte auf bei den jeweiligen Varianten ersichtlich. Bis auf die Ausnahmen, wo das Jahr 2009 angegeben wurde, liegen alle Daten im Jahr 2010.

Verteilung der Fruchtfolgeglieder auf die Parzellen:

- Konventionell Körnermais 1: Parzellen: **3, 5, 18** und **24**
- Konventionell Körnermais 2: Parzellen **4, 6, 17** und **23**
- Konventionell Getreide – Triticale: Parzellen **1, 7, 20** und **22**
- Konventionell Kürbis: Parzellen **2, 8, 19** und **21**
- Biologisch Körnermais 1: Parzellen **12, 14, 27** und **29**
- Biologisch Körnermais 2: Parzellen **11, 13, 28** und **30**
- Biologisch Getreide – Triticale: Parzellen **9, 15, 26** und **32**
- Biologisch Kürbis: Parzellen **10, 16, 25** und **31**

**Tabelle 1: Bearbeitungen im Jahresverlauf des Bewirtschaftungsjahres 2010 für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge**

	konventionell				biologisch				
	KM 1	KM 2	Getreide	Kürbis	KM 1	KM 2	Getreide	Kürbis	
<b>Häckseln</b>		28.09.2009	28.09.2009				28.09.2009		
<b>Pflügen</b>	6.4.	6.4.	30.09.2009	6.4.			30.09.2009		
<b>Grubbern</b>					1.4./7.4.	1.4./7.4.		1.4./7.4.	
<b>Eggen</b>	7.4./17.4.	7.4./17.4.	04.10.2009	7.4./28.4.	17.4./20.4.	17.4./20.4.	04.10.2009	20.4./28.4.	
<b>Düngen</b>	N	26.5.	26.5.	6.3./9.4.	14.5.				
	P	9.4.	9.4.	6.3.	14.5.				
	K	9.4.	9.4.	6.3.	14.5.				
	Gülle	16.4.	16.4.						
	Kalk				19.3.		19.3.	19.3.	
<b>Anbau</b>	Kultur	17.4.	17.4.	07.10.2009	28.4.	21.4.	21.4.	07.10.2009	28.4.
	US				1.6.			29.3.	7.6.
	ZF		28.09.2009	4.8.				2.8.	
<b>Pflanzenschutz</b>	10.5.	10.5.	26.3./20.5.	28.4.					
<b>Striegeln</b>							30.3.		
<b>Hacken</b>				14.5./26.5.	10.5./24.5./6.6.	10.5./24.5./6.6.		15.5./24.5./26.5./ 1.6./6.6.	
<b>Ernte</b>	24.9.	24.9.	12.7.	11.9.	12.7.	12.7.	13.7.	11.9.	

## Bewirtschaftung 2011

In Tabelle 2 sind Details über die Bearbeitungszeitpunkte auf bei den jeweiligen Varianten ersichtlich. Bis auf die Ausnahmen, wo das Jahr 2010 angegeben wurde, liegen alle Daten im Jahr 2011.

Verteilung der Fruchtfolgeglieder auf die Parzellen:

- Konventionell Körnermais 1: Parzellen: **2, 8, 19** und **21**
- Konventionell Getreide – Triticale: Parzellen **3, 5, 18** und **24**
- Konventionell Körnermais 2: Parzellen **1, 7, 20** und **22**
- Konventionell Kürbis: Parzellen **4, 6, 17** und **23**
- Biologisch Körnermais 1: Parzellen **10, 16, 25** und **31**
- Biologisch Getreide – Triticale: Parzellen **12, 14, 27** und **29**
- Biologisch Körnermais 2: Parzellen **9, 15, 26** und **32**
- Biologisch Kürbis: Parzellen **11, 13, 28** und **30**

**Tabelle 2: Bearbeitungen im Jahresverlauf des Bewirtschaftungsjahres 2011 für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge**

2011		konventionell				biologisch			
		KM 1	Getreide	KM 2	Kürbis	KM 1	Getreide	KM 2	Kürbis
<b>Häckseln</b>			28.09.2010		29.9.	15.09.2010	28.09.2010/23.7.		29.09.2010
<b>Pflügen</b>		5.4.	07.10.2010	5.4.	5.4.		07.10.2010		
<b>Grubbern</b>									
<b>Eggen</b>		6.4./9.4.	07.10.2010	6.4./9.4.	6.4./25.4.	30.3./5.4./9.4.	07.10.2010	30.3./5.4./8.4.	30.3./5.4./26.4.
<b>Düngen</b>	N	24.5.	11.4.	24.5.	20.4.	9.4.			9.3.
	P				20.4.				
	K				20.4.				
	Gülle	9.4.	1.3.	9.4.					
	Kalk				9.4.				
<b>Anbau</b>	Kultur	13.4.	09.10.2010	13.4.	26.4.	13.4.	10.10.2010	13.4.	26.4.
	US				31.5.		19.4.		6.9.
	ZF		8.8.		29.09.2010	15.09.2010			29.09.2010
<b>Pflanzenschutz</b>		10.5.	24.5.	10.5.	26.4.				
<b>Striegeln</b>						20.4./7.5.	17.3./20.4.	20.4./7.5.	7.5.
<b>Hacken</b>						6.5./17.5./26.5.		6.5./17.5./26.5.	14.5./25.5./30.5.
<b>Ernte</b>		15.9.	13.7.	15.9.	9.9.	14.9.	13.7.	14.9.	9.9.

## Bewirtschaftung 2012

In Tabelle 3 sind Details über die Bearbeitungszeitpunkte auf bei den jeweiligen Varianten ersichtlich. Bis auf die Ausnahmen, wo das Jahr 2011 angegeben wurde, liegen alle Daten im Jahr 2012.

Verteilung der Fruchtfolgeglieder auf die Parzellen:

- Konventionell Körnermais 1: Parzellen **4, 6, 17** und **23**
- Konventionell Getreide – Triticale: Parzellen **2, 8, 19** und **21**
- Konventionell Körnermais 2: Parzellen **3, 5, 18** und **24**
- Konventionell Kürbis: Parzellen **1, 7, 20** und **22**
- Biologisch Körnermais 1: Parzellen **11, 13, 28** und **30**
- Biologisch Getreide – Triticale: Parzellen **10, 16, 25** und **31**
- Biologisch Körnermais 2: Parzellen **12, 14, 27** und **29**
- Biologisch Kürbis: Parzellen **9, 16, 26** und **32**

**Tabelle 3: Bearbeitungen im Jahresverlauf des Bewirtschaftungsjahres 2012 für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge**

2012	konventionell				biologisch				
	KM 1	Getreide	KM 2	Kürbis	KM 1	Getreide	KM 2	Kürbis	
<b>Häckseln</b>		30.09.2011		30.09.2011	15.09.2011	30.09.2011/23.7.		30.9.	
<b>Pflügen</b>	2.4.	07.10.2011	2.4.	2.4.	4.4.	01.10.2011	4.4.	4.4.	
<b>Grubbern</b>									
<b>Eggen</b>	6.4./12.4.	07.10.2011	6.4./12.4.	6.4./1.5.	5.4.	07.10.2011	5.4.	5.4./27.4.	
<b>Düngen</b>	N	24.5.	7.3./17.4.	24.5.	20.5.			23.3.	
	P								
	K								
	Gülle	11.4.		11.4.					
	Kalk				14.3.			31.3.	
<b>Anbau</b>	Kultur	17.4.	09.10.2011	17.4.	1.5.	17.4.	09.10.2011	17.4.	1.5./15.5.
	US								13.6.
	ZF		31.7.		29.09.2011	12.09.2011		12.09.2011	29.9.
<b>Pflanzenschutz</b>	8.5.		8.5.	3.5.					
<b>Striegeln</b>					26.4.	22.3.	26.4.		
<b>Hacken</b>					12.5./26.5./6.6.		12.5./26.5./6.6.	26.5./6.6.	
<b>Ernte</b>	25.9.	19.7.	25.9.	28.9.	25.9.	18.7.	25.9.	11.9.	

## 4.5 Energieaufwand – Energieinput

Die Sonnenenergie, die vom Pflanzenbestand aufgenommen und in Biomasse umgesetzt wird, wird im Energieaufwand nicht berücksichtigt (HÜLSBERGEN 2003). Der Unterschied zwischen Agrarökosystemen und natürlichen Ökosystemen liegt im Eingriff des Menschen, der mit Energieinput in Form von fossiler Energie verbunden ist. Beim Energieaufwand unterscheidet man zwei wesentliche Bereiche (HÜLSBERGEN 2003):

- den **direkten Energieeinsatz** (Dieselkraftstoff, Brennstoffe, Strom, ...), also der Einsatz unmittelbar im Produktionsprozess zur Verrichtung von Arbeiten
- den **indirekten Energieeinsatz** (Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Saatgut, Maschinen und Geräte) in Vorleistungsbereichen (Industrie, Handel, Transport, ...)

Dabei bezieht sich der indirekte Energieeinsatz auf die Durchführung von Produktionsverfahren außerhalb des zu untersuchenden Betriebssystems.

In allen Bereichen der anzusetzenden Energieäquivalente wurden in der Literatur sehr unterschiedliche Werte für den Energieeinsatz angegeben. Diese Werte, mit den meist großen Spannweiten, sind in den folgenden Kapiteln aufgeführt.

Für die Berechnungen wurden in den meisten Fällen die Werte der International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering/Commission Internationale du Genie Rural (CIGR) aus dem CIGR Handbook of Agricultural Engineering (CIGR 1999) verwendet, welches den Energieaufwand als primärenergetischen Aufwand berechnet. Nur bei berechtigten Zweifeln an der Richtigkeit dieser Werte, bzw. wenn im CIGR Handbook keine Werte vorgefunden wurden die als Energieäquivalent angesetzt werden können, wurden Werte von anderen Autoren verwendet.

### 4.5.1 Direkter Energieaufwand

Der direkte Energieaufwand betrifft die direkt eingesetzte Energie in Form von Dieselkraftstoff für die Bearbeitung am Feld, den Aufwand an Heizöl und elektrischen Strom für die Trocknung des Erntegutes und den Dieselkraftstoff für den Transport von Düngemitteln vom Hof zum Feld und des Erntegutes vom Feld zum Hof. Der Dieselaufwand für die Bearbeitung wird mittels KTBL Feldarbeitsrechner berechnet.

Ein Kilogramm Diesel besitzt einen Heizwert von 42,4 MJ, bei einer Dichte von 0,83 Kilogramm pro Liter. Der Volumetrische Heizwert beträgt somit 35,2 MJ pro Liter.

Je nach Literaturquelle werden auf diesen Wert unterschiedliche Zuschläge für Vorleistungen wie Förderung, Raffination und Transport veranschlagt. So bewertet HÜLSBERGEN (2008) einen Liter Dieseldieselkraftstoff mit einem Energieäquivalent von 39,8 MJ.

Für die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit wurde für einen Liter **Diesel** ein Energieäquivalent von **47,80 MJ** eingesetzt. Dieser Wert stammt aus dem CIGR Handbook (CIGR 1999). Tabelle 4 gibt eine Übersicht der angegebenen Energieäquivalente für einen Liter Diesel je nach Autor. Diese haben eine Spannbreite von 39,6 MJ pro Liter (HÜLSBERGEN, DEIKE et. al.) bis zu 47,8 MJ pro Liter (CIGR Handbook).

Eine kWh Strom hat einen Energieinhalt von 3,6 MJ. Zu diesem Wert ist allerdings noch die Herstellung bzw. die Bereitstellung des Stromes zu berechnen.

Für den Einsatz von elektrischem **Strom** wurde ein Energieäquivalent von **12 MJ** pro kWh eingesetzt. Dieser Wert wurde sowohl im CIGR Handbook (CIGR 1999) als auch in den Lehrveranstaltungsunterlagen von Dr. Moitzi (MOITZI 2012) so angegeben.

In Tabelle 4 sind die Werte der unterschiedlichen Literaturquellen und die berechneten Durchschnittswerte für die Energieäquivalente von Dieseldieselkraftstoff, Heizöl und Strom ersichtlich.

**Tabelle 4: Energieäquivalente für den direkten Energieaufwand in Form von Dieseldieselkraftstoff, Heizöl und elektrischen Strom**

	CIGR	Hülsbergen	Darge	Scholz	Moitzi	Deike et.al.	Verwendet	
<b>Diesel</b>	47,8	39,6	45,3		44,3	39,6	<b>47,80</b>	MJ/Liter
<b>Heizöl</b>	47,8						<b>47,80</b>	MJ/Liter
<b>Strom</b>	12				12		<b>12,00</b>	MJ/kWh

Für die Berechnungen verwendete Daten:

- **Diesel**            **47,8 MJ/Liter**
- **Heizöl**            **47.8 MJ/Liter**
- **Strom**             **12 MJ/kWh**

#### 4.5.1.1 KTBL Feldarbeitsrechner

Der KTBL Feldarbeitsrechner ist unter dem Link <http://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html> aufrufbar und dient der Ermittlung des Kraftstoffbedarfes für alle Feldarbeiten.

Dabei stehen folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

Es können Schläge in einer Größe von 1, 2, 5, 10, 20, 40 oder 80 ha berechnet werden. Zur Vereinfachung wurde im vorliegenden Modell mit einer Schlaggröße von 1 ha gerechnet.

Die Feld-Hof Entfernung kann ebenfalls zwischen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20 oder 30 km gewählt werden. Auch hier wurde die Standardeinstellung von 1 km für das Modell gewählt.

Bei Arbeitsverfahren welche von einem Bodenbearbeitungswiderstand beeinflusst werden, kann zwischen den Stufen gering, mittel und hoch variiert werden. Für das Modell wurde der geringe Widerstand gewählt.

In der Software sind etwa 3000 Arbeitsverfahren auswählbar, wobei jedes Verfahren aus mehreren Teilarbeiten bestehen kann.

Neben dem Dieselbedarf kann auch der Arbeitszeitbedarf ermittelt werden. Dieser gibt den Gesamtarbeitszeitbedarf des Arbeitsverfahrens an. Die Gesamtarbeitszeit enthält die Hauptzeit, Wendezeit, Versorgungszeit, nicht vermeidbare Verlustzeit, Wartezeit, Wegzeit und die Rüstzeit.

Es können auch die Kosten der einzelnen Verfahren berechnet werden. Für die Berechnung der fixen Kosten wird eine jährliche Nutzung der Maschinen in Höhe der Auslastungsschwelle angenommen und ein Restwert von 0 € angenommen. Die fixen Kosten enthalten Abschreibung, Zinskosten für das in der Maschine gebundene Kapital und Sonstiges wie Versicherungen und Gebühren.

Die variablen Kosten setzen sich aus den Betriebsstoff- und Reparaturkosten zusammen, wobei der Schmierstoffverbrauch mit 1 % des Treibstoffverbrauchs angenommen wird. Der Treibstoffbedarf wird teilzeitspezifisch auf Basis der Zeitanteile der einzelnen Teilzeiten und der Motorbelastung in der jeweiligen Teilzeit berechnet.

Die Eingabe erfolgt über eine dreistufige Auswahl, die wie in Abbildung 18 ersichtlich aus der Verfahrensgruppe, dem Arbeitsverfahren und der Maschinenkombination besteht.

Voreingestellt sind eine Schlaggröße von 1 ha und eine Feld-Hofentfernung von 1 km, mit denen wie bereits beschrieben, die Berechnungen durchgeführt wurden. Ebenfalls kann je

nach Arbeitsverfahren auch der Bodenbearbeitungswiderstand, die Ernte- bzw. die Ausbringungsmenge und die Arbeitsbreite variiert werden.

**AUSWAHL**

**1. Arbeitsvorgang**

Verfahrensgruppe: Düngung  
 Arbeitsverfahren: Mineraldünger (PK, K, P, KAS) ausbringen, ab Feld, lose  
 Maschinenkombination: Anbauschleuderstreuer, 1 m<sup>2</sup>, 54 kW

**2. Spezifikation**

Schlaggröße [ha]: 1  
 Bodenbearbeitungswiderstand: -  
 Entfernung Hof-Feld [km]: 1  
 Menge [kg/ha]: 230.0  
 Arbeitsbreite [m]: 21.0  
 aktualisieren

**BESCHREIBUNG DES ARBEITSVORGANGS**

Mineraldünger (PK, K, P, KAS) ausbringen, ab Feld, loser Dünger  
 Schlaggröße: 1 ha, Bodenbearbeitungswiderstand: -, Entfernung Hof-Feld: 1 km, Menge: 230.00 kg/ha, Arbeitsbreite: 21,00 m, Dieselpreis: 0,90 €/l

**ERGEBNIS**

Übersicht | Detailsicht

Teilarbeit	Arbeitszeitbedarf Akh/ha	Flächenleistung ha/h	Maschinenkosten €/ha	Dieselpreis €/l	
Anbauschleuderstreuer, 1 m <sup>2</sup> , 54 kW	Feldarbeit	0,19	8,33	3,28	0,73

Arbeitsvorgang drucken  
 Arbeitsvorgang in EXCEL ausgeben

Abbildung 18: KTBL Feldarbeitsrechner - Eingabemaske

Jede dieser Berechnungen kann als Arbeitsverfahren kann danach ausgedruckt werden oder zur weiteren Verwendung in MS-Excel exportiert werden, wie in Abbildung 19 ersichtlich.

**KTBL-Feldarbeitsrechner**

Arbeitsverfahren: Kalk streuen, ab Feld  
 Schlaggröße: 1,0 ha, Bodenbearbeitungswiderstand: -, Entfernung Hof-Feld: 1,0 km, Menge: 1,0 t/ha, Arbeitsbreite: 12,0 m, Dieselpreis: 0,90 €/l

Teilarbeit	Akh/ha	Flächenleistung ha/h	Maschinenkosten				Summe [€/ha]	Dieselbedarf [l/ha]	
			Abschreibung [€/ha]	Zinskosten [€/ha]	Sonstiges [€/ha]	Reparaturen [€/ha]			
Frontlader, 1 500 daN; Beladen	0,13	0	0,74	0,18	0,03	0,87	0,71	2,53	0,77
Mineraldüngerschaufel, 0,65 m <sup>2</sup> , 54 kW									
Anhängeschleuderstreuer, 4 m <sup>2</sup> , 54 kW	0,4	5	4,38	0,94	0,13	2,77	1,94	10,16	2,11
<b>Summe</b>	<b>0,53</b>		<b>5,12</b>	<b>1,12</b>	<b>0,16</b>	<b>3,64</b>	<b>2,65</b>	<b>12,69</b>	<b>2,88</b>

Haftungsausschluss:  
 Für Schäden, die durch die Benutzung der Internetseiten entstehen, sowie für Entscheidungen, die auf Basis der bereitgestellten Informationen und Datenbanken getroffen werden und deren Folgen daraus, schließt das KTBL jegliche Haftung aus.

© 2008-2012 KTBL, Darmstadt

Abbildung 19: Ergebnisse des KTBL Feldarbeitsrechners als MS Excel Export

#### **4.5.1.2 Dieselbedarf**

Der Dieselbedarf für die angewandten Arbeitsverfahren wurde mit dem KTBL Feldarbeitsrechner aufgrund von Erfahrungswerten berechnet. Hierbei handelt es sich um Schätzwerte für eine vorgegebene Maschinenkombination. Für eine detaillierte Bewertung des Dieserverbrauchs müssten Messungen am jeweiligen Versuchsstandort mit den verwendeten Maschinen durchgeführt werden.

Für die Auswahl der Maschinenkombinationen im KTBL-Rechner wurde eine ortsübliche Mechanisierung bzw. Maschinenausstattung unterstellt.

#### **4.5.1.3 Trocknung**

Die Trocknung des Erntegutes spielt bei Mais eine wesentliche Rolle. Nach der Ernte wies der Körnermais auf den Versuchsflächen, in den Jahren 2010 bis 2012, einen Feuchtigkeitsgehalt zwischen 20 bis 35 % auf. Um die Lagerfähigkeit zu gewährleisten ist eine Trocknung auf maximal 14 % Endfeuchte erforderlich.

Bei Triticale wird mit der Ernte so lange zugewartet, bis der erforderliche Feuchtigkeitsgehalt von ebenfalls etwa 14 % erreicht ist.

Für die Trocknung von Kürbis konnten in der Literatur keine Vergleichswerte gefunden werden, daher entfällt die Berechnung für die Trocknung von Kürbiskernen. Bei den, im Vergleich zu Körnermais und Triticale, geringen Erntemengen beim Ölkürbis, würde diese Berechnung auch nur einen unwesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Der Energieverbrauch für die Trocknung besteht aus dem Brennstoffverbrauch und dem Stromverbrauch (ROSSRUCKER 1977).

In unserem Fall setzt er sich aus den Energieäquivalenten für den Brennstoff, Heizöl mit einem Energieäquivalent von 47,8 MJ pro Liter (CIGR 1999), und elektrischen Strom, mit einem Energieäquivalent von 12 MJ pro kWh (CIGR 1999), zusammen.

Die Brennstoffkosten schwanken je nach Anlage und Bauart des Trockners. Berechnet wird der spezifische Brennstoffverbrauch der Anlage für die Abführung des enthaltenen Wassers im Erntegut. Auf Grund von Anfangs- und Endfeuchte des Maises kann die abgetrocknete Wassermenge berechnet werden, auf welche die verbrauchte Ölmenge bezogen wird. Man

erhält auf diese Weise den spezifischen Ölverbrauch in Liter Heizöl pro kg Wasser (ROSSRUCKER 1977).

Für unsere Berechnungen wird der spezifische Wärmebedarf von Durchlauftrocknern verwendet, weil er in der Regel niedriger ist und rund 900 bis 1200 kcal pro kg Wasser beträgt. Das entspricht 3780 bis 5040 kJ pro kg Wasser.

Für die Berechnung des Heizölbedarfes wurde Tabelle 5 verwendet. Sie enthält neben der Anfangsfeuchte des Nassmais auch Angaben über die Wassermenge, die bei einer Trocknung auf 14 % Endfeuchte aus 100 kg Naßmais abgeführt werden muss.

**Tabelle 5: Ölverbrauch [Liter] bei der Trocknung von Körnermais auf 14 % Endfeuchte bezogen auf die Anfangsfeuchte [%]**

<b>Naßmaisfeuchte [%]</b>	<b>Wasserentzug je 100 kg Naßmais bei Trocknung auf 14% [kg]</b>	<b>Ölverbrauch je 100 kg Naßmais bei spezifischem Wärmebedarf von 900 kcal/kg Wasser [l]</b>
40	30,23	3,24
39	29,07	3,11
38	27,91	2,99
37	26,74	2,87
36	25,58	2,74
35	24,41	2,62
34	23,25	2,49
33	22,09	2,37
32	20,93	2,24
31	19,76	2,12
30	18,60	1,99
29	17,44	1,87
28	16,28	1,74
27	15,12	1,62
26	13,95	1,49
25	12,79	1,37
24	11,62	1,25
23	10,46	1,12
22	9,30	1,00
21	8,14	0,87
20	6,98	0,75

Der Verbrauch an elektrischem Strom ergibt sich hauptsächlich aus dem Antrieb des Gebläses, dem Antrieb des Brenners, der Förder- und Reinigungseinrichtungen und einer unter Umständen notwendigen Vorwärmung des Heizöles (ROSSRUCKER 1977). Der Strombedarf wird mittels Richtwerten für den spezifischen Strombedarf bewertet. Der spezifische Strombedarf liegt bei modernen Anlagen bei ca. 0,04 kWh pro kg Wasser. Mittels der Naßmaisfeuchte kann wiederum über diesen spezifischen Strombedarf der Stromverbrauch in kWh für die Trocknung des Erntegutes auf 14 % errechnet werden.

Hierfür können die Werte aus Tabelle 6 zur Anwendung gebracht werden.

**Tabelle 6: Stromverbrauch [kWh] bei der Trocknung von Körnermais auf 14 % Endfeuchte bezogen auf die Anfangsfeuchte [%]**

<b>Naßmaisfeuchte [%]</b>	<b>Wasserentzug je 100 kg Naßmais bei Trocknung auf 14% [kg]</b>	<b>Stromverbrauch je 100 kg Naßmais bei spezifischem Strombedarf von 0,04 kWh/kg Wasser [kWh]</b>
40	30,23	1,21
39	29,07	1,16
38	27,91	1,12
37	26,74	1,07
36	25,58	1,02
35	24,41	0,98
34	23,25	0,93
33	22,09	0,88
32	20,93	0,84
31	19,76	0,79
30	18,60	0,74
29	17,44	0,70
28	16,28	0,65
27	15,12	0,60
26	13,95	0,56
25	12,79	0,51
24	11,62	0,46
23	10,46	0,42
22	9,30	0,37
21	8,14	0,35
20	6,98	0,33

## 4.5.2 Indirekter Energieaufwand

Beim indirekten Energieaufwand wird jeglicher Energieeinsatz bewertet, der nicht direkt vom Landwirt in Form von Dieselkraftstoff, Heizöl oder elektrischem Strom aufgebracht wird. Im vorliegenden Modell handelt es sich um den Energieaufwand bei der Herstellung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln, den Manipulationskosten für die Bereitstellung von Saatgut und den Energieaufwand bei der Herstellung der eingesetzten Maschinen.

### 4.5.2.1 Düngemittel

Düngung dient dazu, die physiologischen Prozesse im Organismus der Pflanze durch geeignete Substanz- und Energiezufuhr so zu steuern, um bei Schonung der Umwelt beim Ertrag in Menge und Qualität ein Optimum zu erzielen (SCHILLING 2000).

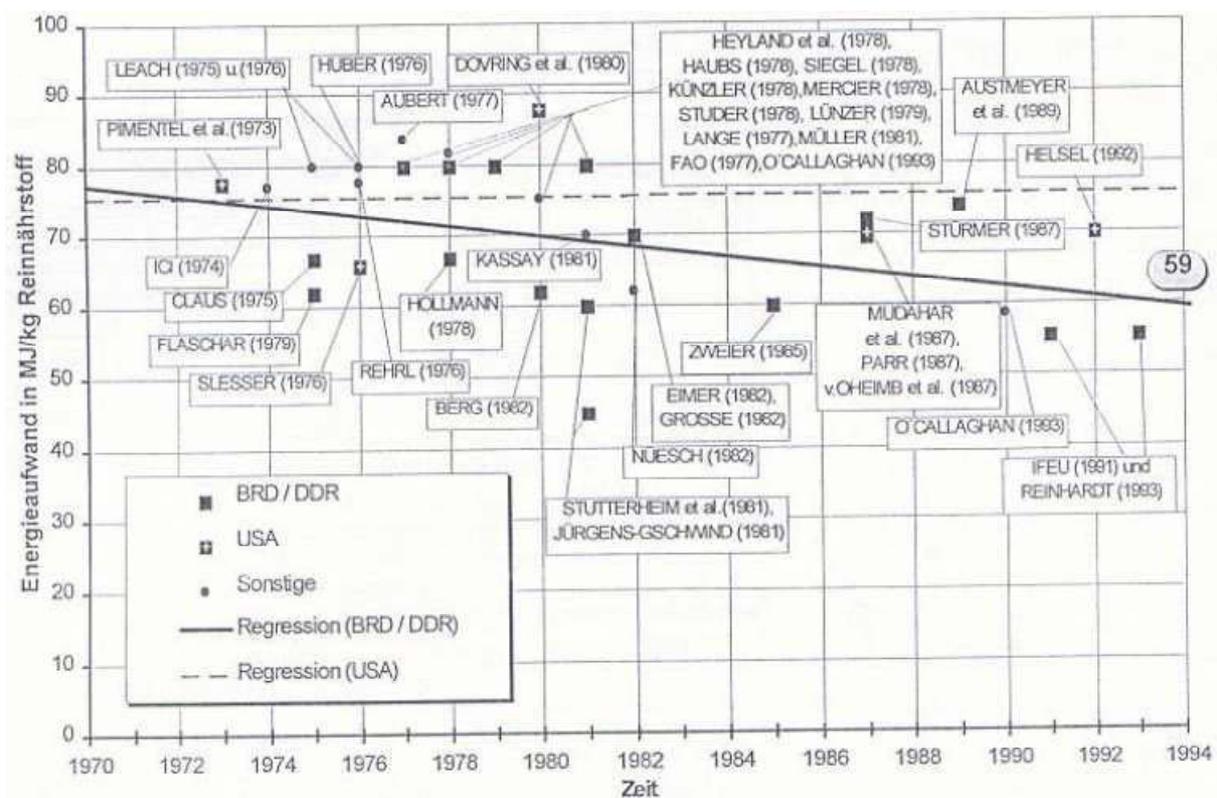
Bei den Düngemitteln wurden die wichtigsten Makronährstoffe betrachtet. So wurde der Energieaufwand für Stickstoff (N), Phosphor ( $P_2O_5$ ), Kalium ( $K_2O$ ) und Kalk (CaO) bewertet.

Der höchste Energieaufwand bei der Herstellung der Düngemittel fällt bei der Herstellung von Stickstoffdünger an. Der anfallende Energieverbrauch variiert dabei enorm je nach Produktionsverfahren und Effektivität der Anlage. Die unterschiedlichen Autoren sprechen von einem Aufwand zwischen 35,3 MJ pro kg Reinstickstoff (HÜLSBERGEN 2003, 2008) und 80 MJ pro kg Reinstickstoff. Die Angaben variieren stark durch die unterschiedliche Effektivität der einzelnen Anlagen.

Im Fall des Stickstoffdüngers (N) wurden nicht die Werte aus dem CIGR Handbook verwendet, nachdem der Aufwand von 78,1 MJ/kg Reinstickstoff zu hoch erscheint. Moitzi adaptiert diesen Wert für seine Kalkulationen auf 60 MJ/kg. Aber auch dieser Wert erscheint aufgrund der vorhandenen Daten von SCHOLZ (1997) als veraltet. SCHOLZ gibt in Abbildung 20 schon für 1994 ein Energieäquivalent von nur 59 MJ/kg Reinnährstoff an. Das Österreichische Kuratorium für Landtechnik ÖKL nimmt in seinen aktuellen Berechnungen einen Wert von rund 32,5 MJ/kg Reinstickstoff bei modernen Anlagen an. HÜLSBERGEN (2003) führt in seiner Habilitationsschrift (Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme) die Berechnungen mit dem Wert von **35,3 MJ/kg** Reinstickstoff durch. Aus den angeführten

Gründen erscheint der Wert von 35,3 MJ/kg den HÜLSBERGEN (2003, 2008) verwendet, als realistisch.

Nachdem aber gerade der mineralische Stickstoffdünger einen wesentlichen Unterschied zwischen dem konventionellen und dem biologischen Bewirtschaftungsmodell darstellt, soll die Aussagekraft der vorliegenden Arbeit nicht durch den Umstand des verwendeten, relativ niedrig erscheinenden Energieäquivalents von nur 35,3 MJ/kg Reinstickstoff, geschmälert werden. Zu diesem Zweck wird gibt es das Kapitel 5.5.1 *Sensitivitätsanalyse – Energieaufwand bei der Produktion von N-Dünger* in dem die Berechnungen über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012 beim Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger in drei Stufen (35,3 MJ/kg, 60 MJ/kg und 80 MJ/kg) variiert werden. Die energetischen Kennzahlen wurden ebenfalls für diese drei Aufwandstufen berechnet.



**Abbildung 20: Entwicklung des Energieverbrauches bei der Produktion von Stickstoffdünger (Quelle: Scholz, 1997 in Agrartechnische Forschung 3)**

Ähnlich hohe Schwankungen gibt es bei den Angaben für die Energiekosten beim Phosphordünger. So erfordert die Produktion eines Kilogramms  $P_2O_5$  je nach Autor zwischen 7,6 und 36,2 MJ an Energie. Hier wird bei den Berechnungen wieder auf die Werte aus dem CIGR Handbook zurückgegriffen, die sich mit **17,4 MJ/kg** im Mittelfeld befinden.

Bei Kalium wird die Spannweite geringer. Hier sprechen die Autoren von einem Energieaufwand von 2,1 bis 12 MJ pro Kilogramm  $K_2O$ . Auch hier werden die Werte aus dem CIGR Handbook mit **13,7 MJ/kg** verwendet.

Bei der Kalkdüngung gibt es dann einen relativ geringen Spielraum von 2,4 bis 3 MJ pro Kilogramm  $CaO$ . Für die Berechnungen wird ein Wert von **2,7 MJ/kg**, welcher einen Mittelwert darstellt, verwendet.

In der konventionellen Bewirtschaftung kommt neben der mineralischen Düngung auch Schweinegülle zu Düngungszwecken zum Einsatz. Diese wird im vorliegenden Berechnungsmodell als Kuppelprodukt angesehen und somit nicht energetisch bewertet. Einzig der maschinelle Aufwand bei der Aufbereitung und der Ausbringung der Gülle am Feld wird als direkter Energieaufwand in Form von Dieselmotorkraftstoff bewertet. Somit ergibt sich für **Gülle** ein Energieäquivalent von **0 MJ/kg**.

Nachdem bei der biologischen Bewirtschaftung aufgrund der fehlenden Tierzucht am Betrieb keine Gülle zur Verfügung steht und bisher auch kein Lieferant von Schweinegülle in Bio-Qualität gefunden werden konnte, wird im Kapitel 5.5.2 *Energetische Bewertung des Einsatzes von Gülle* auch dieser Energieinput bewertet.

In Tabelle 7 sind die Angaben für den Energieaufwand bei der Herstellung der einzelnen Dünger je nach Autor ersichtlich.

**Tabelle 7: Energieäquivalente für den Energieaufwand bei der Produktion von mineralischen Düngemitteln**

	CIGR	Hülsbergen	Darge	Scholz	Moitzi	Deike et.al.	Verwendet	
<b>Stickstoff (N)</b>	78,1	35,3	80	59	60	35,3	<b>35,30</b>	MJ/kg
<b>Phosphor (<math>P_2O_5</math>)</b>	17,4	36,2	17,7	17	14	15,8	<b>17,40</b>	MJ/kg
<b>Kalium (<math>K_2O</math>)</b>	13,7	11,2	10,5	10	12	2,1	<b>13,70</b>	MJ/kg
<b>Kalk (<math>CaO</math>)</b>			2,4	3			<b>2,70</b>	MJ/kg
<b>Gülle</b>	nur Ausbringung bewertet - Kuppelprodukt						<b>0</b>	MJ/kg

Für die Reinnährstoffe in den Düngemitteln werden folgende Energieäquivalente für die Berechnungen verwendet:

- **Stickstoff (N)**                    **35,3 MJ** pro kg Reinnährstoff
- **Phosphor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)**                **17,4 MJ** pro kg Reinnährstoff
- **Kalium (K<sub>2</sub>O)**                    **13,7 MJ** pro kg Reinnährstoff
- **Kalk (CaO)**                      **2,70 MJ** pro kg Reinnährstoff
- **Gülle**                                **0 MJ** pro kg

#### **4.5.2.2 Saatgut**

Für das Saatgut wird ein Energieäquivalent für die Manipulationskosten angesetzt. Dieses beinhaltet die Aufbereitung und den Transport und wird für unterschiedliches Saatgut mit unterschiedlichen Werten berechnet. So spricht HÜLSBERGEN (2003) von einem Manipulationsaufwand zwischen 1,3 und 98 MJ/kg je nach Kulturart.

Wie in Tabelle 8 ersichtlich werden je nach Autor unterschiedliche Werte für die verwendeten Fruchtarten angesetzt. In der vorliegenden Arbeit wurde großteils mit Werten aus dem CIGR Handbook (CIGR 1999) gearbeitet. Für Getreide wurde ein geringerer Wert von 5,5 MJ laut HÜLSBERGEN (2008) verwendet.

Für Saatmischungen, welche in der biologischen Bewirtschaftung zum Einsatz kommen und welche den Aufzeichnungen zufolge unterschiedliche Zusammensetzungen aufweisen, wird mit einem Wert von 50 MJ pro Kilogramm gerechnet (MOITZI 2013), dieser Wert ist ein Mittelwert aus den Literaturwerten für das Saatgut von Getreide, Klee und Sonnenblume. Um die Auswirkung dieses sehr hoch bemessenen Wertes von 50 MJ/kg Saatgut zu berücksichtigen, wird im Kapitel 5.5.3 *Sensitivitätsanalyse – Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut* dieser Wert zwischen 10 und 50 MJ/kg variiert.

Nachdem in der Literatur keine Werte für die Manipulation von Kürbissaatgut auffindbar waren, wurden nach Rücksprache mit MOITZI die Werte wie bei Sonnenblume eingesetzt nachdem hier ein ähnlicher Aufwand notwendig ist (MOITZI 2012b).

Bei Körnermais wurde ein Tausendkorngewicht TKG von 310 Gramm angenommen (Sorte Poncho), bei Kürbis wurde ein TKG von 169 Gramm angenommen (Sorte Opal).

**Tabelle 8: Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut**

	CIGR	Hülsbergen	Darge	Scholz	Moitzi	Deike et.al.	Verwendet	
<b>Saatgut</b>		1,3 - 98						
<b>Mais</b>	100				100		<b>100,00</b>	MJ/kg
<b>Getreide</b>	13	5,5		6	10		<b>5,50</b>	MJ/kg
<b>Kürbis</b>	bewertet als Sonnenblume (Moitzi 2012b)							
<b>Klee</b>	135						<b>135,00</b>	MJ/kg
<b>Sonnenblume</b>	20				20		<b>20,00</b>	MJ/kg
<b>Mischungen</b>	Mittelwert aus Getreide, Klee und Sonnenblume						<b>50,00</b>	MJ/kg

**Verwendete Energieäquivalente für Saatgut:**

- **Mais**                      **100 MJ** pro kg Saatgut
- **Getreide**                 **5,5 MJ** pro kg Saatgut
- **Klee**                        **135 MJ** pro kg Saatgut
- **Sonnenblume**          **20 MJ** pro kg Saatgut
- **Saatmischungen**      **50 MJ** pro kg Saatgut

**4.5.2.3 Pflanzenschutzmittel**

Der Krankheits- und der Schädlingsbefall werden durch die Witterungsbedingungen, die Fruchtfolge, das Anbauverfahren und die Bestandeseigenschaften bestimmt (AUFHAMMER 1998). Vorbeugende Maßnahmen bei der Unkrautbekämpfung stellen die Verwendung von reinem Saatgut und der Anbau von Zwischenfrüchten sowie Untersaaten dar (BÖRNER 1995).

Bei den Pflanzenschutzmitteln ergibt sich für die Berechnung des Energieaufwandes neben der Problematik, dass verschiedene Autoren sehr unterschiedliche Werte für die Wirkstoffgruppen Herbizide, Fungizide und Insektizide angeben, auch noch das Problem, dass es sehr viele unterschiedliche Wirkstoffe gibt, bei denen eine sehr hohe Variabilität im Energieaufwand bei der Herstellung besteht.

Wie in Tabelle 9 ersichtlich beträgt die Spannweite hier bei Herbiziden von 85 bis 518 MJ pro Kilogramm Wirkstoff, bei Fungiziden von 61 bis 397 MJ pro Kilogramm Wirkstoff und bei Insektiziden von 58 bis 580 MJ pro Kilogramm Wirkstoff.

Zur Vereinfachung der Berechnungen wurde über diese Literaturwerte der Mittelwert gebildet. Dieser beträgt **239 MJ** pro Kilogramm Wirkstoff.

Pflanzenschutzmittel werden nur bei der konventionellen Wirtschaftsweise eingesetzt und ihr Einsatz stellt somit neben dem Einsatz mineralischen Düngemitteln den wesentlichen Unterschied zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise dar. Der fehlende Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führt bei der biologischen Wirtschaftsweise zu einem Mehraufwand durch manuelle Arbeit, wie höheren Einsatz eines Hackstriegels und einen höheren Aufwand an Saatgut und wiederholtes Säen durch den Einsatz von Zwischenfrüchten um den Unkrautdruck niedrig zu halten.

Verwendetes Energieäquivalent für Pflanzenschutzmittel:

- **Pflanzenschutzmittel**      **239 MJ** pro kg Wirkstoff

Tabelle 9: Energieaufwand bei der Produktion von synthetischen Pflanzenschutzmitteln

	CIGR		Hülsbergen	Darge	Scholz	Moitzi	Deike et.al.	Durchschnitt	
<b>PSM</b>			196 - 288	k.A.	200			<b>239</b>	MJ/kg
<b>Herbizide</b>	MCPA	130				259	288	<b>288,23</b>	MJ/kg
	2,4-D	85							
	2,4,5-T	135							
	Dicamba	295							
	Fluazilop b.	518							
	Alachlor	278							
	Chlorsulfuron	365							
	Atrazine	190							
	Paraquat	460							
	Glyphosate	454							
	Linuron	290							
<b>Fungizide</b>	Ferbam	61				177	196	<b>174,17</b>	MJ/kg
	Maneb	99							
	Captan	115							
	Benomyl	397							
<b>Insektizide</b>	Methyl parathion	160				296	237	<b>287,71</b>	MJ/kg
	Carbofuran	454							
	Lindane	58							
	Cypermethrin	580							
	Malathion	229							

#### 4.5.2.4 Maschinen

Der Energieeinsatz bei der Herstellung der Maschinen wurde aus der Diplomarbeit von Gerhard Biedermann übernommen. BIEDERMANN (2009) weist bei einer durchschnittlichen Betriebsgröße und Mechanisierung einen Wert von **1956 MJ** pro Hektar als anzusetzendes Energieäquivalent für die Maschinenherstellung aus.

Dieser Wert von 1956 MJ pro Hektar wird in der vorliegenden Arbeit pauschal für die Berechnungen des Energieeinsatzes und der Energieeffizienz angesetzt.

Verwendetes Energieäquivalent für Pflanzenschutzmittel:

- **Maschinen**                      **1956 MJ** pro Hektar

## 4.6 Verwendete Energieäquivalente

In Tabelle 14 ist eine vollständige Aufstellung aller Energieäquivalente ersichtlich, die im Standardmodell eingesetzt werden.

Bei den rot markierten Positionen (Saatmischungen, N, Gülle) werden für das adaptierte Modell andere Werte eingesetzt.

**Tabelle 10: Aufstellung der verwendeten Energieäquivalente für die Energiebilanzierung**

Betriebsmittel	Energieäquivalent	Quelle
<b>Energie</b>		
Dieselmotorkraftstoff	47,8 MJ/Liter	CIGR 1999
Heizöl	47,8 MJ/Liter	CIGR 1999
Elektr. Strom	12 MJ/kWh	CIGR 1999, Moitzi 2012a
<b>Saatgut</b>		
Mais	100 MJ/kg	CIGR 1999
Getreide	5,5 MJ/kg	Hülsbergen 2008
Kürbis	20 MJ/kg	CIGR 1999
Klee	135 MJ/kg	CIGR 1999
<b>Saatgutmischungen*</b>	<b>50 MJ/kg</b>	<b>CIGR 1999 (Mittelwert)</b>
<b>Pflanzenschutzmittel</b>		
Wirkstoff	239 MJ/kg	CIGR 1999 (Mittelwert)
<b>Düngemittel</b>		
<b>N*</b>	<b>35,3 MJ/kg N</b>	<b>Hülsbergen 2003</b>
Phosphor	17,4 MJ/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CIGR 1999
Kalium	13,7 MJ/kg K <sub>2</sub> O	CIGR 1999
Kalk	2,7 MJ/kg CaO	Darge 2002 , Scholz 1997 (Mittelwert)
<b>Gülle*</b>	<b>0 MJ</b>	<b>als Kuppelprodukt bewertet</b>
<b>Erntegut</b>		
Körnermais	18,5 MJ/kg	Hülsbergen 2008, Scholz 1997
Kürbis	28,3 MJ/kg	CIGR 1999
Getreide Korn	18,6 MJ/kg	CIGR 1999
Getreide Stroh	17,7 MJ/kg	CIGR 1999
<b>Maschinen</b>	1956 MJ/ha	Biedermann 2009
<b>Transport</b>	0,09 Liter/t km	ÖKL 2013

\*Dieser Wert wird als entscheidend für die Energiebilanzierung am Standort Wagna angesehen und um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten wird dieser im Ergebnisteil variiert

## 4.7 Energiebilanzierung

Der allgemeine Energiefluss für die Pflanzenproduktion ist in Abbildung 25 ersichtlich. Auf Basis dieses Energieflusses werden alle Berechnungen der Vorliegenden Arbeit durchgeführt. Stellt man die Pflanzenproduktion als zentrales System in die Mitte, so wird auf der linken Seite Energie in Form des direkten Energieaufwandes (in Form von Diesel für Feldarbeiten und Transport und in Form von Heizöl und Strom für die Trocknung von Körnermais) und des indirekten Energieaufwandes (für die Herstellung von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln, Saatgut und Maschinen) eingesetzt. Als Ergebnis erhält man auf der rechten Seite den Energie Output in Form des Erntegutes (Körnermais, Getreide Korn + Stroh und Kürbiskerne). Stellt man diese Werte (Input, Output, Ertrag) gegenüber, so erhält man in weiterer Folge die energetischen Kennzahlen für die Bewertung der Energieeffizienz.

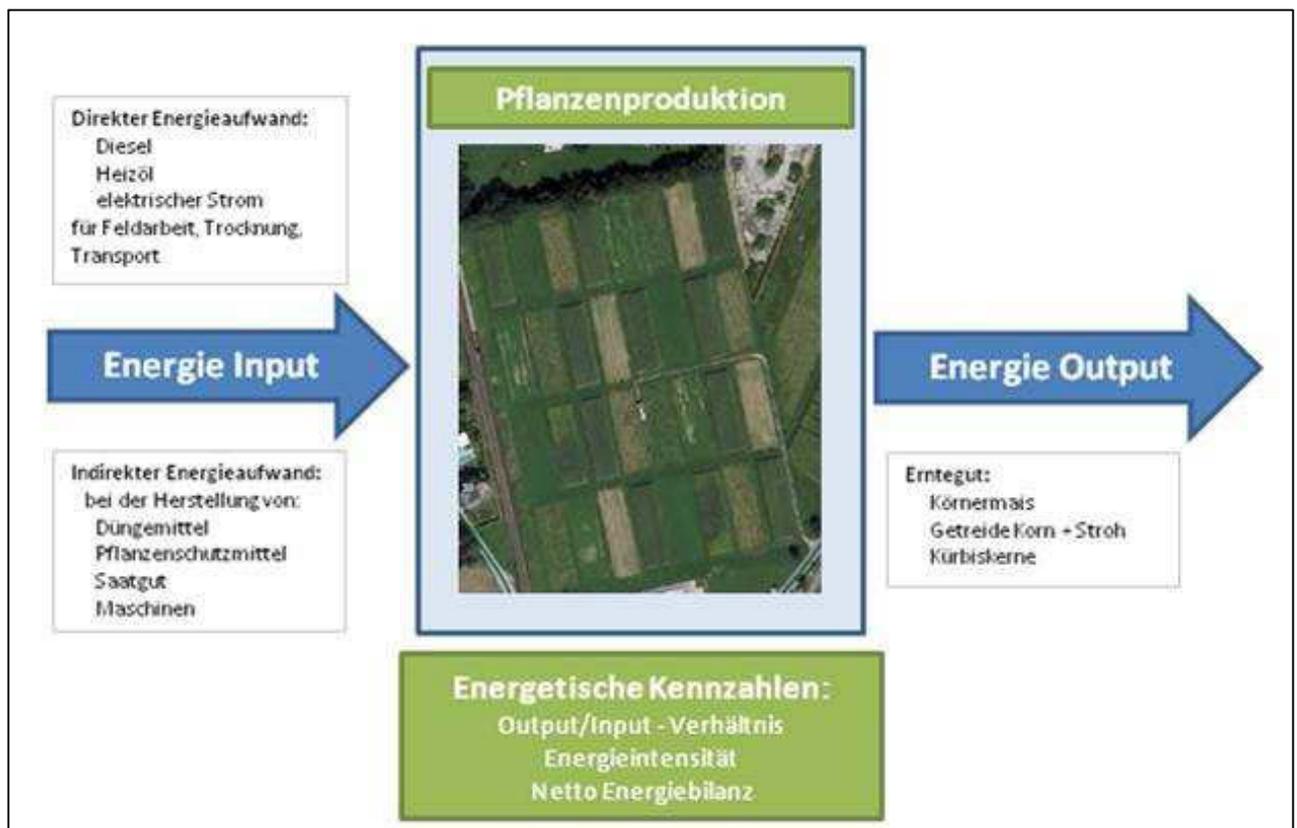


Abbildung 21: Allgemeiner Energiefluss auf dessen Basis das Bilanzierungsmodell erstellt wurde

Für die Berechnung der energetischen Parameter des jeweiligen Fruchtfolgeglieders entsteht nun folgende Berechnungsmatrix (Tabelle 15).

**Tabelle 11: Allgemeine Berechnung des Energieinputs [MJ/ha] und Energieoutputs [MJ/ha] eines Fruchtfolgeglieders**

Energieaufwand		Energieertrag
<b>direkter</b>	<b>indirekter</b>	
Feldarbeit ( lt. KTBL Feldarbeitsrechner)	Maschinen (1956 MJ/ha)	Erntegut [kg/ha]
Transport	Pflanzenschutzmittel	
Trocknung	Düngemittel	
	Saatgut	
$\Sigma$ Input [MJ/ha]		$\Sigma$ Output [MJ/ha]

Über den ermittelten Input [MJ/ha], den Output [MJ/ha] und den Ertrag [kg/ha], können in weiterer Folge die gewünschten energetischen Kennzahlen für die Energieeffizienz berechnet werden.

#### 4.8 Energetische Kennzahlen

Die energetische Bewertung der Produktionssysteme Konventionell und Biologisch wird mit Hilfe von drei energetischen Kennzahlen durchgeführt.

Diese Kennzahlen sind:

- **Output/Input Verhältnis**
- **Energieintensität [MJ/kg Erntegut]**
- **Netto Energiebilanz [MJ/ha]**

Die Ermittlung der Kennzahlen erfolgt nach der Methode von Hülsbergen (2003). Die Kennzahlen errechnen sich wie folgt:

$$\text{Output/Input Verhältnis} = \text{Energieoutput [MJ/ha]} / \text{Energieinput [MJ/ha]}$$

Der Energieoutput [MJ/ha] beschreibt den Ertrag des jeweiligen Fruchtfolgeglieders. Hierfür wird der Ertrag in kg mit dem Brennwert der jeweiligen Kultur multipliziert.

Bei Mais (18,5 MJ/kg, Quelle: Hülsbergen 2008) wird der getrocknete Ertrag (14 % Feuchtigkeit) verwendet, bei Triticale (18,6 MJ/kg Korn, 17,7 MJ/kg Stroh, Quelle: CIGR 1999) der Ertrag ebenfalls mit einem Feuchtgehalt von 14 % bewertet und bei Kürbis (28,3 MJ/kg, Quelle: CIGR 1999) der gereinigte und getrocknete Ertrag mit einem Wassergehalt von 8 %.

Für den Energieinput [MJ/ha] wird der indirekte (Maschinenherstellung, mineralischer Stickstoff-, Phosphor- und Kalidünger, Kalkdünger, Saatgut und Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln) und der direkte (in Form von Dieselmotorkraftstoff für den Maschineneinsatz und den Transport, elektrischen Strom und Heizöl für die Trocknung) Energieaufwand eingesetzt.

$$\text{Energieintensität [MJ/kg]} = \text{Energieinput [MJ/ha]} / \text{Kornertrag [kg/ha]}$$

Die Energieintensität [MJ/kg] gibt somit die notwendige Energie [MJ] für die Produktion von einem Kilogramm Kornertrag des jeweiligen Fruchtfolgeglieders an.

Der Energieinput wird für die Energieintensität mit den gleichen Kriterien wie für das Output/Input Verhältnis berechnet. Auch der Wassergehalt von 14 % bei Mais und Getreide bzw. von 8 % bei Kürbis bleibt hier gleich.

$$\text{Netto Energiebilanz [MJ/ha]} = \text{Energieoutput [MJ/ha]} - \text{Energieinput [MJ/ha]}$$

Die Netto Energiebilanz ist der Zuwachs an Energie der über ein Jahr generiert werden kann. Es wird somit vom Energieoutput der Energieinput abgezogen. Für beide Werte gelten die gleichen Kriterien wie schon bei den beiden anderen Kennzahlen.

Zur vereinfachten Darstellung werden diese Formeln in Abbildung 26 zusammengefasst.

<i>Output/Input Verhältnis</i>	=	$\sum$ Output [MJ/ha]	÷	$\sum$ Input [MJ/ha]
<i>Energieintensität [MJ/kg Ertrag]</i>	=	$\sum$ Input [MJ/ha]	÷	Kornertrag [kg/ha]
<i>Netto Energiebilanz [MJ/ha]</i>	=	$\sum$ Output [MJ/ha]	-	$\sum$ Input [MJ/ha]

**Abbildung 22: Formeln für die Berechnung der energetischen Kennzahlen**

## 4.9 Eingesetzte Software

Die Berechnungen für den Energieeinsatz und die Energieeffizienz wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2007 durchgeführt.

Für den direkten Energieaufwand (in Form eines Energieäquivalentes für Dieselkraftstoff) wurde der KTBL Feldarbeitsrechner vom Kuratorium für Technik und Bauwesen, unter dem Link <http://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html>, verwendet.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mittels der Software IBM SPSS Statistics, Version 21. Für die Bewertung der statistischen Signifikanzen kam bei Körnermais der Student-Newman-Keuls Test mit einem  $\alpha=0.05$  zum Einsatz (BÜHL 2012), für Getreide – Triticale und Kürbis, bzw. die Bewertung der Gesamtergebnisse wurde auf einen T-Test zurückgegriffen, nachdem für den Student-Newman-Keuls Test mindestens drei Mittelwerte notwendig sind und hier nur zwei Wertegruppen zur Verfügung stehen.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Für das Kapitel Ergebnisse und Diskussion gelten folgende Voraussetzungen:

- Unterschiedliche Buchstaben in Abbildungen kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede.
- Statistische Signifikanzen bei Körnermais werden mittels Student-Newman-Keuls Test mit einem  $\alpha=0,05$  ermittelt.
- Statistische Signifikanzen bei Triticale und Kürbis werden mittels T-Test bewertet, nachdem für den Student-Newman-Keuls Test mindestens 3 Wertegruppen vorhanden sein müssen.
- Statistische Signifikanzen beziehen sich somit immer nur auf die jeweilige Hauptfruchtart (Körnermais, Getreide, Kürbis).

### 5.1 Energiebilanzierung

Für die Energieberechnung wird zunächst jedes Fruchtfolgeglied an sich bewertet. Berechnet werden der Energieinput, der Energieoutput und die energetischen Kennzahlen.

In weiterer Folge wird die konventionelle bzw. die biologische Fruchtfolge für jedes Jahr (2010, 2011 und 2012) berechnet

Zum Abschluss wird die Energiebilanzierung für die konventionelle und die biologische Fruchtfolge über den gesamten Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 berechnet.

Die Erträge, Energieinput und Energieoutput, sowie die energetischen Kennzahlen werden mittels Varianzanalyse auf statische signifikante Unterschiede überprüft.

Um auf Schwächen des vorliegenden Modells zur Energiebewertung von einzelnen Fruchtfolgen einzugehen, wurde eine adaptierte Bewertung anhand der Sensitivitätsanalysen für mineralischen Stickstoffdünger und Saatgutmischungen in der biologischen Fruchtfolge, sowie des Gülleeinsatzes, erstellt.

### **5.1.1 Direkter Energieaufwand**

Der direkte Energieaufwand besteht, wie bereits beschrieben, aus dem berechneten Energieaufwand durch den Einsatz von Dieselkraftstoff beim Landmaschineneinsatz, dem Dieselkraftstoff für den Transport von Düngemitteln vom Hof zum Feld und von Erntegut vom Feld zum Hof und aus dem berechneten Energieaufwand durch den Einsatz von Heizöl und elektrischem Strom bei der Trocknung von Körnermais.

#### **5.1.1.1 Dieserverbrauch nach KTBL Feldarbeitsrechner**

Der Dieselbedarf wurde für das jeweilige Arbeitsverfahren mit dem KTBL Feldarbeitsrechner berechnet. Für die vorliegende Berechnung wurde mit einer ortsüblichen Maschinenausstattung gerechnet. Bei den Arbeitsverfahren wurden eine durchschnittliche Mechanisierung für den Bereich Südsteiermark angesetzt.

Das Energieäquivalent für die jeweilige Bearbeitung errechnet sich über den Dieselbedarf und das Energieäquivalent für einen Liter Dieselkraftstoff von 47,4 MJ pro Liter.

Für die weitere Berechnung des direkten Energieaufwandes ergeben sich somit die in Tabelle 16 angegebenen Energieäquivalente in MJ pro Hektar.

**Tabelle 12: Energieäquivalente [MJ/ha] je Arbeitsverfahren laut KTBL Feldarbeitsrechner**

<b>Arbeitsverfahren</b>	<b>Dieserverbrauch [l/ha]</b>	<b>Energieäquivalent [MJ/ha]</b>
<b>Düngen</b>		
Düngestreuer (N, P, K)	0,61	26,43
Gülledüngung	3,68	159,42
Kalkdüngung	2,88	124,76
<b>Bodenbearbeitung</b>		
Kurzscheibenegge	3,28	142,09
Scheibenegge flach	4,28	185,41
Scheibenegge	8,26	357,82
Flügelschargrubber	6,68	289,38
Pflügen	16,11	697,89
<b>Saat</b>		
Gemenge	5,17	223,96
Mais	3,37	145,99
Triticale	9,71	420,64
Kürbis	3,37	145,99
Grünschnittroggen	8,51	368,65
Untersaat Kürbis	9,79	424,10
<b>Pflanzenschutz</b>		
	1,09	47,22
<b>Strohbergung</b>		
	13,23	573,12
<b>Ernte</b>		
Mais	22,99	995,93
Getreide 6 t/ha	21,65	937,88
Getreide 3 t/ha	17,74	768,50
Kürbis*	37,5	1624,50
<b>Striegeln</b>		
	2,81	121,73
<b>Maismulchen</b>		
	9,91	429,30
<b>Maisstoppel fräsen</b>		
	9,86	427,14
<b>Hacken</b>		
Kürbis	4,63	200,57
Mais	3,61	156,39

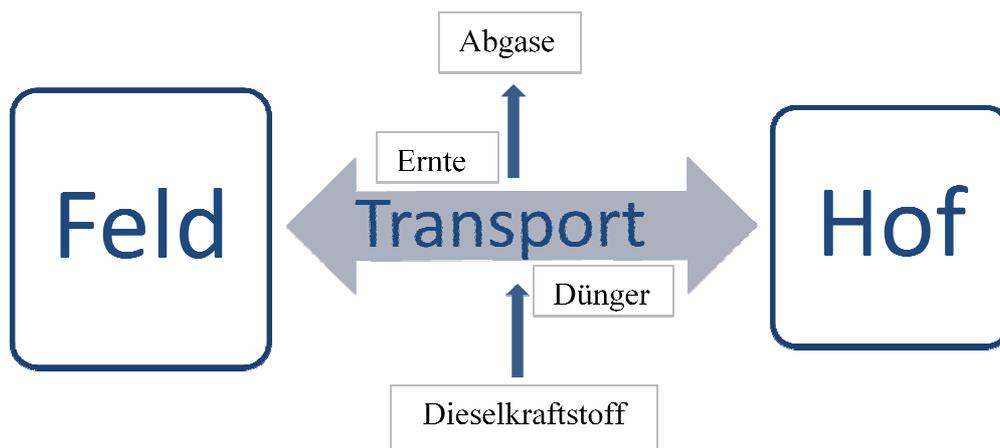
\*Für die Kürbiserte wurden Erfahrungswerte des Maschinenring Leibnitz verwendet

Bei Arbeitsschritten der Bodenbearbeitung wurde beim KTBL Dieselbedarfsrechner aufgrund der Bodenverhältnisse in Wagna (sehr hoher Sandanteil) mit einem geringen Bodenwiderstand gerechnet.

Laut den ÖKL-Richtwerten für den Kraftstoffverbrauch (ÖKL 2013) gibt es bei der Bodenbearbeitung eine sehr große Spanne. So ist beim Pflügen auf leichten Böden mit 15 Litern pro Hektar Kraftstoffverbrauch zu rechnen, wohingegen bei schweren Böden mit bis zu 40 Litern pro Hektar zu rechnen ist. Somit ergibt sich bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen ein erhöhter Kraftstoffverbrauch von bis zu zusätzlichen 166 % oder ein Faktor von 2,6!

### 5.1.1.2 Transport

Abbildung 27 stellt den Energiefluss beim Transport dar. Diesel wird in das System eingesetzt, Abgase verlassen das System. Beim Transport wird Dünger vom Hof zum Feld transportiert und Erntegut vom Feld zum Hof.



**Abbildung 23: Energiefluss beim Transport von Dünger zum Feld und von Erntegut zum Hof**

Für die Berechnung des Energieaufwandes beim Transport von Waren, wird der ÖKL-Richtwert von **0,09 Liter Dieseltreibstoff pro Tonne** transportiertes Wirtschaftsgut **pro Kilometer** (ÖKL 2013), angesetzt.

Für das vorliegende Modell wurde eine **Feld – Hof – Entfernung** von **2 km** unterstellt (MOITZI 2013).

Transportaufwände werden berücksichtigt für den Transport von Düngemitteln vom Hof zum Feld, bzw. für den Transport des Erntegutes vom Feld zum Hof.

### 5.1.1.3 Trocknung

Abbildung 28 stellt den Energiefluss bei der Trocknung von Körnermais dar. Naßmais geht in die Trocknung und verläßt diese als Trockenmais mit einem Feuchtegehalt von 14 %. Dazu werden Heizöl und elektrische Energie eingesetzt. Wasser verläßt als Nebenprodukt die Trocknung.

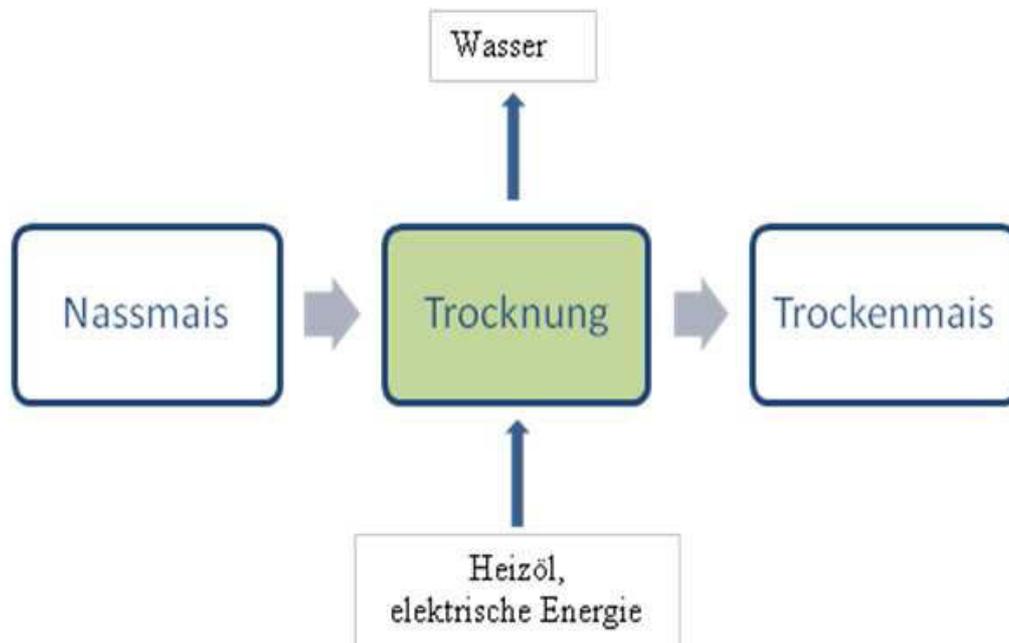


Abbildung 24: Energiefluss bei der Trocknung von Körnermais

Werden die Erntefeuchte und die Erträge mit dem spezifischen Brennstoffverbrauch und dem spezifischen Stromverbrauch gegenübergestellt, so erhält man den Energieaufwand für die Trocknung von Körnermais.

Der Faktor für den spezifischen Brennstoffverbrauch wird in Tabelle 5 abgelesen und mit der Menge des zu trocknenden Körnermais multipliziert. Das Ergebnis (Liter Heizöl) wird mit dem Energieäquivalent von **47,4 MJ pro Liter Heizöl** bewertet und ergibt somit die notwendige Energie [MJ].

Ebenso wird der Faktor für den spezifischen Stromverbrauch aus der Tabelle 6 ermittelt und mit der Menge des zu trocknenden Körnermais multipliziert. Das Ergebnis (kWh elektrischer Strom) wird mit dem Energieäquivalent von **12 MJ pro kWh elektrischen Strom** bewertet und ergibt somit die notwendige Energie [MJ].

Addiert man nun die beiden Ergebnisse (Ölverbrauch [MJ] und Stromverbrauch [MJ]) so erhält man die notwendige Gesamtenergie [MJ] für die Trocknung.

In Tabelle 17 sind die Energieaufwände für die einzelnen Fruchtfolgeglieder und Bewirtschaftungsweisen für die Trocknung von Körnermais im Bewirtschaftungsjahr 2010 ersichtlich.

**Tabelle 13: Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung 2010**

Variante	Ertrag [kg/ha]	Ölverbrauch [Liter]	Ölverbrauch [MJ]	Stromverbrauch [MJ]	Gesamtverbrauch [MJ]
BIO KM1	7365	157,7	7537	700,2	8238
Konv. KM1	7499	142	6786	635,3	7421
BIO KM2	6712	180,9	8648	809,8	9458
Konv. KM2	7353	144,6	6911	461,1	7372

In Tabelle 18 sind die Energieaufwände für die einzelnen Fruchtfolgeglieder und Bewirtschaftungsweisen für die Trocknung von Körnermais im Bewirtschaftungsjahr 2011 ersichtlich.

**Tabelle 14: Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung 2011**

Variante	Ertrag [kg/ha]	Ölverbrauch [Liter]	Ölverbrauch [MJ]	Stromverbrauch [MJ]	Gesamtverbrauch [MJ]
BIO KM1	5341	66,8	3192	297,3	3490
Konv. KM1	11011	132,2	6318	590,6	6909
BIO KM2	5578	144,9	6925	252,8	7178
Konv. KM2	10003	113,9	5444	506,1	5950

In Tabelle 19 sind die Energieaufwände für die einzelnen Fruchtfolgeglieder und Bewirtschaftungsweisen für die Trocknung von Körnermais im Bewirtschaftungsjahr **2012** ersichtlich.

**Tabelle 15: Energieverbrauch bei der Körnermaistrocknung 2012**

Variante	Ertrag [kg/ha]	Ölverbrauch [Liter]	Ölverbrauch [MJ]	Stromverbrauch [MJ]	Gesamtverbrauch [MJ]
BIO KM1	7506	61,7	2948	308,0	3256
Konv. KM1	10287	92,9	4439	438,3	4877
BIO KM2	9957	89,7	4286	423,3	4710
Konv. KM2	10741	90,1	4308	444,5	4752

## 5.1.2 Indirekter Energieaufwand

Der indirekte Energieaufwand setzt sich zusammen aus den Energiekosten für die Herstellung von Maschinen, Saatgut, mineralischen Düngemitteln und den Wirkstoffen in Pflanzenschutzmitteln.

### 5.1.2.1 Maschinen

Für den Energieaufwand bei der Erzeugung der eingesetzten Maschinen kommt ein pauschaliertes Energieäquivalent von 1956 MJ pro ha zum Einsatz. Für die Berechnungen wurde mit Parzellengrößen von 1 Hektar gerechnet.

Somit bleibt der Pauschalbetrag von **1956 MJ** pro Fruchtfolgeglied.

### 5.1.2.2 Saatgut

Für die Bereitstellung von Saatgut werden die Energieäquivalente vom jeweils eingesetzten Saatgut (**5,5 bis 135 MJ** pro Kilogramm) mit der Menge an eingesetztem Saatgut multipliziert, um den Energieaufwand für die Berechnungen zu erhalten.

### 5.1.2.3 Düngemittel

Für die Berechnung der Energieäquivalente von Düngemitteln, wird für die eingesetzten Düngemittel der Reinnährstoff berechnet. Über die eingesetzte Menge des Düngemittels kann somit der Reinnährstoffgehalt berechnet werden. In weiterer Folge wird dieser Wert mit dem Energieäquivalent für den entsprechenden Nährstoff **N (35,3 MJ/kg)**, **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (17,4 MJ/kg)**, **K<sub>2</sub>O (13,7 MJ/kg)** und **CaO (2,7 MJ/kg)** berechnet werden.

#### 5.1.2.4 Pflanzenschutzmittel

Für die Berechnung der Energieäquivalente der eingesetzten Pflanzenschutzmittel, wurde der Wirkstoff im jeweiligen Pflanzenschutzmittel ermittelt und mit dem Energieäquivalent von **239 MJ** pro Kilogramm Wirkstoff bewertet.

Für die Berechnung des Energieaufwandes pro Hektar wurde die Aufwandsmenge pro Hektar in die Berechnung miteinbezogen.

Die Angaben über die Wirkstoffe in den jeweiligen Pflanzenschutzmitteln entstammen den Internetauftritten der einzelnen Hersteller:

BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>
KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>
SYNGENTA	<a href="http://www.syngenta.com">http://www.syngenta.com</a>

## Pflanzenschutz 2010

In Tabelle 20 ist ersichtlich welche Pflanzenschutzmittel für die einzelnen Kulturen im Bewirtschaftungsjahr 2010 eingesetzt wurden. Das Energieäquivalent für den Einsatz der unterschiedlichen Wirkstoffe errechnet sich als Produkt des eingesetzten Wirkstoffes mit dem Durchschnittswert von 239 MJ pro Kilogramm Wirkstoff.

Summiert man die Werte für das jeweilige Fruchtfolgeglied so ergibt sich für **Mais** bei konventioneller Bewirtschaftung ein Energieäquivalent von **331 MJ** pro Hektar, bei **Triticale** ein Energieäquivalent von **93 MJ** pro Hektar und bei **Kürbis** kommt man bei konventioneller Wirtschaftsweise auf einen gesamten Energieeinsatz berechnet als Energieäquivalent von **617 MJ** pro Hektar für die Pflanzenschutzmittel.

**Tabelle 16: Energieäquivalente durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 2010**

Kultur	Jahr	PSM	Inhaltsstoffe	Summe	Hersteller	Quelle	Menge pro ha	MJ pro ha
Mais	2010	Kukuruz Pack 3 Liter / ha						
		Clio® Star	50 g/l Topramezone +160 g/l Dicamba®	210	BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>	1 Liter	50
		Spectrum®	720 g/l Dimethenamid-P	720			1 Liter	172
		Stomp® Aqua	455 g/l Pendimethalin	455			1 Liter	109
Triticale	2010	Biathlon®	714 g/kg Tritosulfuron + Trisiloxane	714	BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>	0,07 kg	12
		Neo-wett®	100% Isotridecanol-polyglycoether	1000	KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>	0,2 Liter	48
		Osiris®	37,5 g/l Epoxiconazol, 27,5 g/l Metconazol	65	BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>	2 Liter	31
		Karate® Zeon	Lambda-Cyhalothrin (100 g/l)	100	SYNGENTA	<a href="http://www.syngenta.com">http://www.syngenta.com</a>	0,075 Liter	2
Kürbis	2010	DUAL® GOLD	960 g/l S-Metolachlor	960	SYNGENTA	<a href="http://www.syngenta.com">http://www.syngenta.com</a>	2,5 Liter	574
		Centium® CS	Clomazone 360 g/l	360	KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>	0,5 Liter	43

## Pflanzenschutz 2011

In Tabelle 21 ist ersichtlich welche Pflanzenschutzmittel für die einzelnen Kulturen im Bewirtschaftungsjahr 2011 eingesetzt wurden. Das Energieäquivalent für den Einsatz der unterschiedlichen Wirkstoffe errechnet sich als Produkt des eingesetzten Wirkstoffes mit dem Durchschnittswert von 239 MJ pro Kilogramm Wirkstoff.

Summiert man die Werte für das jeweilige Fruchtfolgeglied so ergibt sich für **Mais** bei konventioneller Bewirtschaftung ein Energieäquivalent von **275 MJ** pro Hektar, bei **Triticale** ein Energieäquivalent von **39 MJ** pro Hektar und bei **Kürbis** kommt man bei konventioneller Wirtschaftsweise auf einen gesamten Energieeinsatz berechnet als Energieäquivalent von **288 MJ** pro Hektar für die Pflanzenschutzmittel.

**Tabelle 17: Energieäquivalente durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 2011**

Kultur	Jahr	PSM	Inhaltsstoffe	Summe	Hersteller	Quelle	Menge pro ha	MJ pro ha
Mais	2011	Kukuruz Pack 2,5 Liter / ha						
		Clio® Star	50 g/l Topramezone +160 g/l Dicamba®	210	BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>	0,83 Liter	42
		Spectrum®	720 g/l Dimethenamid-P	720			0,83 Liter	143
Stomp® Aqua		455 g/l Pendimethalin	455	0,83 Liter			90	
Triticale		Osiris®	37,5 g/l Epoxiconazol, 27,5 g/l Metconazol	65	BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>	2,5 Liter	39
Kürbis		DUAL® GOLD	960 g/l S-Metolachlor	960	SYNGENTA	<a href="http://www.syngenta.com">http://www.syngenta.com</a>	0,45 Liter	103
		Centium® CS	Clomazone 360 g/l	360	KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>	0,9 Liter	77
	Flexidor®	Isoxaben 500 g/l	500	KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>	0,9 Liter	108	

## Pflanzenschutz 2012

In Tabelle 22 ist ersichtlich welche Pflanzenschutzmittel für die einzelnen Kulturen im Bewirtschaftungsjahr 2012 eingesetzt wurden. Das Energieäquivalent für den Einsatz der unterschiedlichen Wirkstoffe errechnet sich als Produkt des eingesetzten Wirkstoffes mit dem Durchschnittswert von 239 MJ pro Kilogramm Wirkstoff.

Summiert man die Werte für das jeweilige Fruchtfolgeglied so ergibt sich für **Mais** bei konventioneller Bewirtschaftung ein Energieäquivalent von **331 MJ** pro Hektar und bei **Kürbis** kommt man bei konventioneller Wirtschaftsweise auf einen gesamten Energieeinsatz berechnet als Energieäquivalent von **338 MJ** pro Hektar für die Pflanzenschutzmittel.

**Tabelle 18: Energieäquivalente durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 2012**

Kultur	Jahr	PSM	Inhaltsstoffe	Summe	Hersteller	Quelle	Menge pro ha	MJ pro ha
Mais	2012	Kukuruz Pack 3 Liter / ha						
		Clio® Star	50 g/l Topramezone +160 g/l Dicamba®	210	BASF	<a href="http://www.agrar.basf.at">http://www.agrar.basf.at</a>	1 Liter	50
		Spectrum®	720 g/l Dimethenamid-P	720			1 Liter	172
		Stomp® Aqua	455 g/l Pendimethalin	455			1 Liter	109
Kürbis	2012	DUAL® GOLD	960 g/l S-Metolachlor	960	SYNGENTA	<a href="http://www.syngenta.com">http://www.syngenta.com</a>	1,25 Liter	287
		Centium® CS	Clomazone 360 g/l	360	KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>	0,25 Liter	22
		Flexidor®	Isoxaben 500 g/l	500	KWIZDA	<a href="http://www.kwizda-agro.at">http://www.kwizda-agro.at</a>	0,25 Liter	30

## 5.2 Energetische Berechnung

Als exemplarische Darstellung einer vollständigen energetischen Berechnung eines Fruchtfolgeglieders kann Tabelle 23 herangezogen werden. Hierbei handelt es sich um eine originale Berechnung, deren Ergebnisse sich auch im Gesamtergebnis widerspiegeln.

**KK1 – 2010** steht in diesem Fall für:

- Bewirtschaftungsjahr: 2010
- Bewirtschaftungsmodell: Konventionell
- Fruchtfolgeglied: Körnermais 1

**Tabelle 19: Exemplarische Energieberechnung anhand des Fruchtfolgeglieders Konventionell, Körnermais 1, 2010**

KK1 - 2010	Input		Output
	direkt [Liter Diesel]	indirekt [MJ]	[MJ]
Pflügen	16,11		
Eggen	8,26		
Düngen Phosphor (21 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,61	365	
Düngen Kalium (90 kg K <sub>2</sub> O)	0,61	1.233	
Düngen Stickstoff (77kg N)	0,61	2.718	
Gülledüngung	3,68		
Eggen	8,26		
Saat Mais (28 kg)	3,37	2.800	
Pflanzenschutz	1,09	331	
Hacken	4,63		
Ernte (7499 kg)	22,99		138.732
<b>Summe</b>	<b>70,22</b>	<b>7.447</b>	<b>138.732</b>
<b>Energieäquivalent [MJ/ha]</b>	<b>3.357</b>	<b>7.447</b>	<b>138.732</b>
Trocknung [MJ]	7.421		
Transport [MJ]	69		
Maschinen [MJ/ha]		1.956	
<b>Gesamt [MJ/ha]</b>	<b>10.847</b>	<b>9.404</b>	<b>138.732</b>
<b>Output/Input Verhältnis</b>		<b>6,9</b>	
<b>Energieintensität [MJ/kg Ertrag]</b>		<b>2,7</b>	
<b>Netto Energiebilanz [MJ/ha]</b>		<b>118.481</b>	

### 5.3 Erträge – Energieoutput

Die Erträge wurden vom Versuchsreferat Steiermark zur Verfügung (VERSUCHSREFERAT STEIERMARK 2011, 2012, 2013) gestellt. Es handelt sich dabei um die Werte des gereinigten Ertrages mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 14 % bei Körnermais und Triticale und einem Feuchtigkeitsgehalt von 8 % bei Kürbis. Um statistische Signifikanzen nachzuweisen wurden die Varianten Körnermais 1 und Körnermais 2 mittels Student-Newman-Keuls Test miteinander verglichen, Triticale und Kürbis jeweils mittels T-Test. Statistische Signifikanzen beziehen sich immer nur auf eine Hauptfruchtart.

#### 5.3.1 Erträge 2010

Im Bewirtschaftungsjahr 2010 konnten im Schnitt über die vier Wiederholungen die Erträge wie in Tabelle 10 und Abbildung 21 erzielt werden. Wie in Tabelle 10 ersichtlich, wurden Mittelwerte und die Standardabweichung berechnet.

**Tabelle 20: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] 2010**

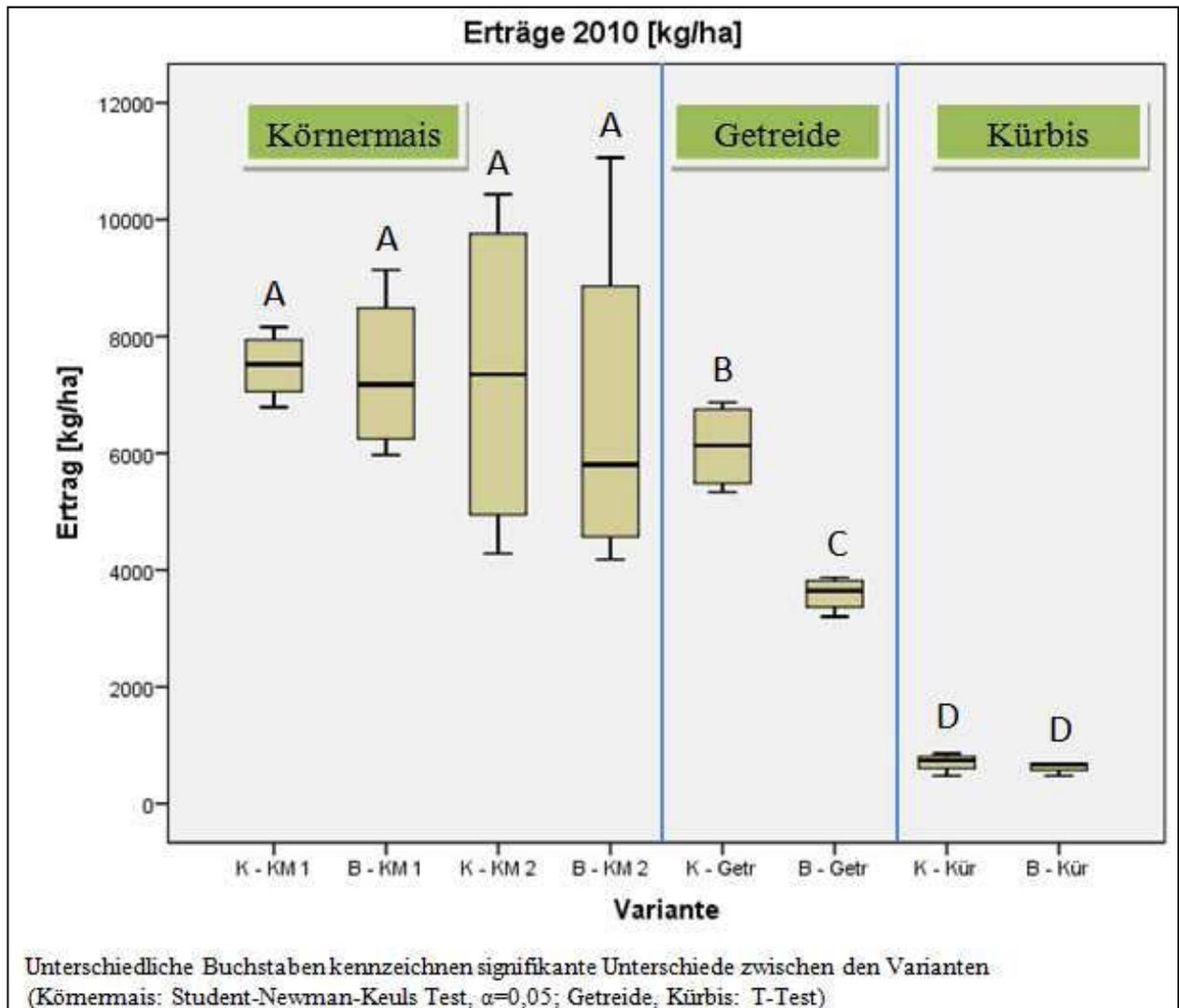
Variante	Mittelwert [kg/ha]	Standardabweichung [kg]
Konv. Körnermais 1	7.499 <sub>(A)</sub>	442
BIO Körnermais 1	7.365 <sub>(A)</sub>	1.117
Konv. Körnermais 2	7.353 <sub>(A)</sub>	2.403
BIO Körnermais 2	6.712 <sub>(A)</sub>	2.174
Konv. Getreide	6.117 <sub>(B)</sub>	636
BIO Getreide	3.592 <sub>(C)</sub>	226
Konv. Kürbis	703 <sub>(D)</sub>	112
BIO Kürbis	626 <sub>(E)</sub>	74

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Körnermais: Student-Newman-Keuls Test,  $\alpha=0,05$ ; Getreide, Kürbis: T-Test)

Wie in Tabelle 10 ersichtlich ergeben sich somit im Jahr 2010 keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen konventionell und biologisch produziertem Körnermais. Bei Triticale gibt es einen signifikanten Unterschied von 41 % und bei Kürbis ebenfalls ein signifikanten Unterschied von 11 %.

Beim Körnermais gibt es hohe Standardabweichungen beim Fruchtfolgeglied Körnermais 2. Bei Getreide und Kürbis ist bei der biologischen Wirtschaftsweise die Streuung der einzelnen Varianten geringer als bei der konventionellen Wirtschaftsweise.

Zur Verdeutlichung der Ausführung wurde mittels SPSS ein Boxplot (Abbildung 21) erstellt. Hier sind die Mittelwerte und die Streuung der jeweils vier Wiederholungen in der Variante ersichtlich.



**Abbildung 25: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] im Versuchsjahr 2010**

### 5.3.2 Erträge 2011

Im Bewirtschaftungsjahr 2011 konnten im Schnitt über die vier Wiederholungen die Erträge wie in Tabelle 11 und Abbildung 22 erzielt werden. Wie in Tabelle 11 ersichtlich, wurden Mittelwerte und die Standardabweichung berechnet.

**Tabelle 21: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] 2011**

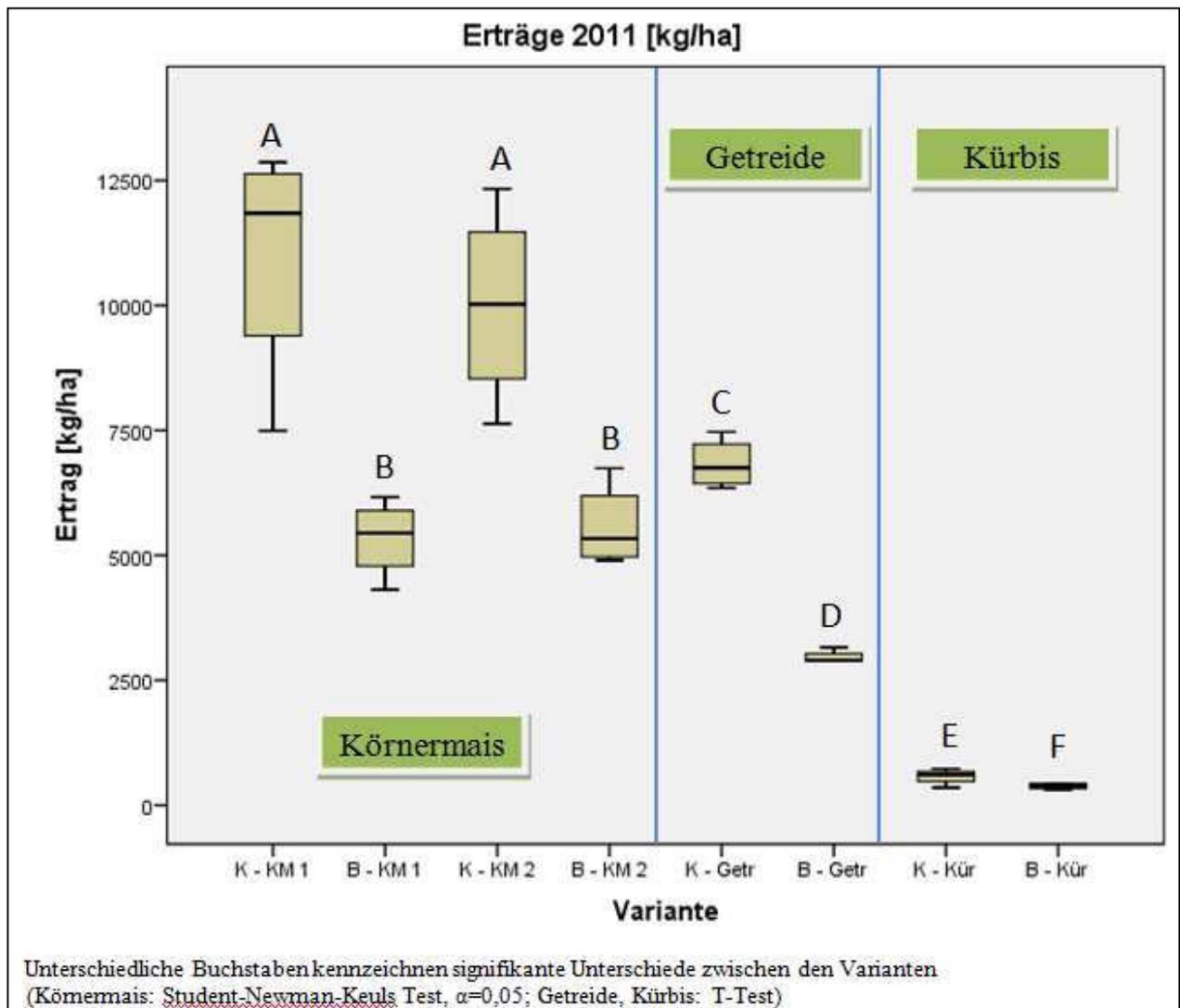
Variante	Mittelwert [kg/ha]	Standardabweichung [kg]
Konv. Körnermais 1	11.010 <sup>(A)</sup>	1.759
BIO Körnermais 1	5.341 <sup>(B)</sup>	553
Konv. Körnermais 2	10.003 <sup>(A)</sup>	1.469
BIO Körnermais 2	5.578 <sup>(B)</sup>	612
Konv. Getreide	6.828 <sup>(C)</sup>	393
BIO Getreide	2.960 <sup>(D)</sup>	99
Konv. Kürbis	574 <sup>(E)</sup>	112
BIO Kürbis	381 <sup>(F)</sup>	51

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Körnermais: Student-Newman-Keuls Test,  $\alpha=0,05$ ; Getreide, Kürbis: T-Test)

Wie in Tabelle 11 ersichtlich ergeben sich somit im Jahr 2011 statistisch signifikante Unterschiede zwischen konventionell und biologisch produziertem Körnermais. Sowohl bei Körnermais 1 als auch bei Körnermais 2 bringt die biologische Wirtschaftsweise signifikant niedrigere Erträge. Diese liegen bei Körnermais 1 um 51 % und bei Körnermais 2 um 44 % unter den Werten der konventionellen Wirtschaftsweise. Bei Triticale gibt es einen signifikanten Unterschied von 57 % und bei Kürbis einen ebenfalls signifikanten Unterschied von 34 %.

Im Jahr 2011 ist für alle vier Fruchtfolgeglieder bei der biologischen Wirtschaftsweise die Streuung der Erträge über die einzelnen Varianten geringer als bei der konventionellen Wirtschaftsweise.

Zur Verdeutlichung der Ausföhrung wurde mittels SPSS ein Boxplot (Abbildung 22) erstellt. Hier sind die Mittelwerte und die Streuung der jeweils vier Wiederholungen in der Variante ersichtlich.



**Abbildung 26: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] im Versuchsjahr 2011**

### 5.3.3 Erträge 2012

Im Bewirtschaftungsjahr 2012 konnten im Schnitt über die vier Wiederholungen die Erträge wie in Tabelle 12 und Abbildung 23 erzielt werden. Wie in Tabelle 12 ersichtlich, wurden Mittelwerte und die Standardabweichung berechnet.

**Tabelle 22: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] 2012**

Variante	Mittelwert [kg/ha]	Standardabweichung [kg]
Konv. Körnermais 1	10.287 <sup>(A)</sup>	415
BIO Körnermais 1	7.506 <sup>(B)</sup>	1.675
Konv. Körnermais 2	10.741 <sup>(A)</sup>	249
BIO Körnermais 2	9.957 <sup>(A)</sup>	647
Konv. Getreide	5.777 <sup>(C)</sup>	463
BIO Getreide	2.662 <sup>(D)</sup>	96
Konv. Kürbis	546 <sup>(E)</sup>	39
BIO Kürbis	238 <sup>(F)</sup>	93

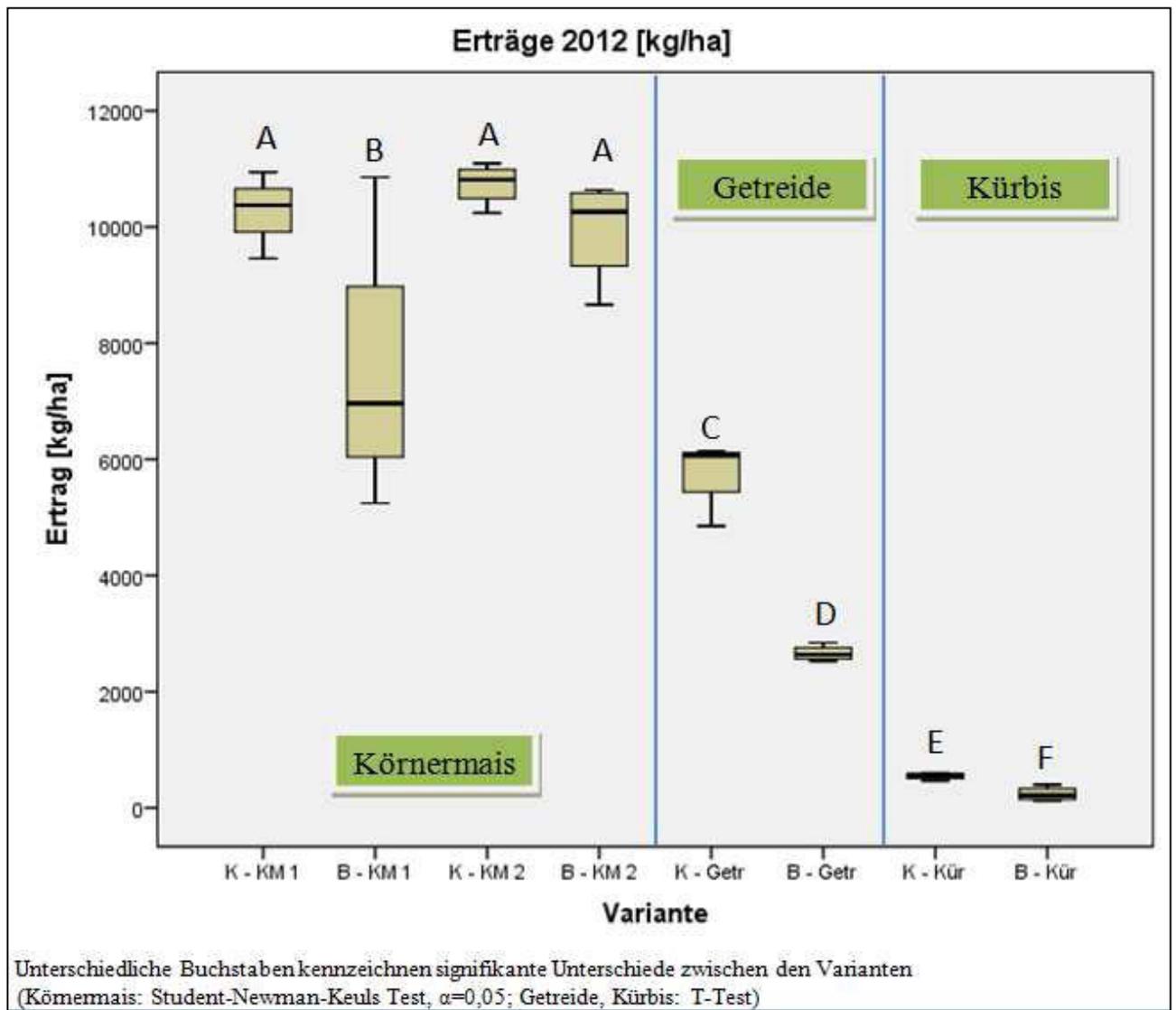
Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Körnermais: Student-Newman-Keuls Test,  $\alpha=0,05$ ; Getreide, Kürbis: T-Test)

Wie in Tabelle 12 ersichtlich ergeben sich somit im Jahr 2011 statistisch signifikante Unterschiede von 27 % zwischen der konventionellen und biologischen Produktion von Körnermais beim Fruchtfolgeglied Körnermais 1. Bei Körnermais 2 sind die Unterschiede nicht statistisch signifikant.

Bei Triticale gibt es einen signifikanten Unterschied von 54 % und bei Kürbis einen ebenfalls signifikanten Unterschied von 56 %.

Im Jahr 2012 ist für die Fruchtfolgeglieder Körnermais 1, Körnermais 2 und Kürbis bei der biologischen Wirtschaftsweise die Streuung der Erträge über die einzelnen Varianten höher als bei der konventionellen Wirtschaftsweise. Bei Getreide ist die Streuung auf Seiten der konventionellen Bewirtschaftung höher.

Zur Verdeutlichung der Ausführung wurde mittels SPSS ein Boxplot (Abbildung 23) erstellt. Hier sind die Mittelwerte und die Streuung der jeweils vier Wiederholungen in der Variante ersichtlich.



**Abbildung 27: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] im Versuchsjahr 2012**

### 5.3.4 Durchschnittsrträge über den gesamten Versuchszeitraum 2010 bis 2012

Über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012 konnten im Durchschnitt über die vier Wiederholungen die Erträge wie in Tabelle 13 und Abbildung 24 dargestellt sind, erzielt werden.

**Tabelle 23: Mittlere Erträge [kg/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder mit Standardabweichung [kg] über den gesamten Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

Variante	Mittelwert [kg/ha]	Standardabweichung [kg]
Konv. Körnermais 1	9599 <sup>(A)</sup>	2077
BIO Körnermais 1	6737 <sup>(B)</sup>	1823
Konv. Körnermais 2	9366 <sup>(A)</sup>	2382
BIO Körnermais 2	7416 <sup>(AB)</sup>	2599
Konv. Getreide	6241 <sup>(C)</sup>	732
BIO Getreide	3072 <sup>(D)</sup>	445
Konv. Kürbis	608 <sup>(E)</sup>	141
BIO Kürbis	415 <sup>(F)</sup>	189

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Körnermais: Student-Newman-Keuls Test,  $\alpha=0,05$ ; Getreide, Kürbis: T-Test)

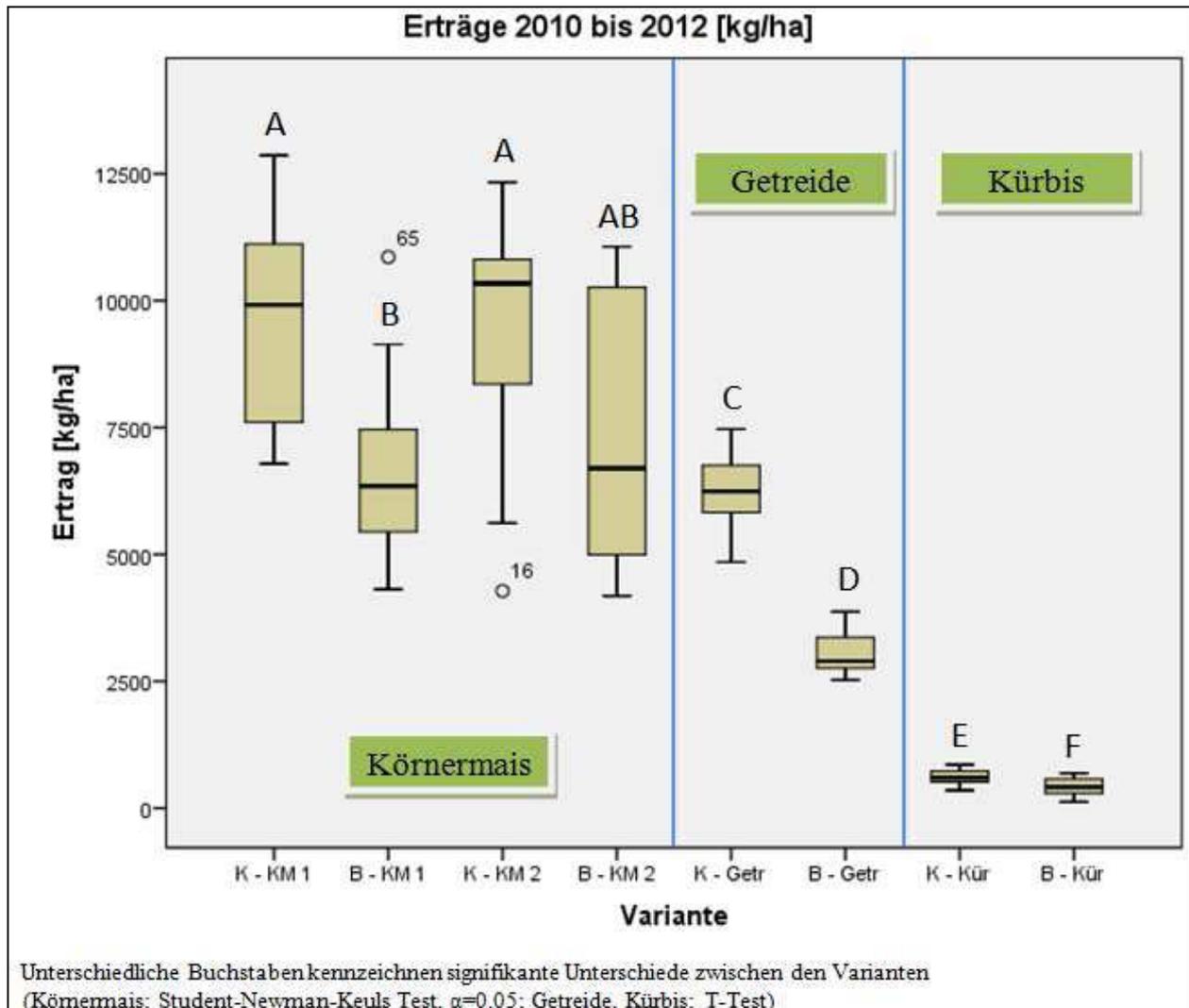
Wie in Tabelle 13 ersichtlich ergeben sich über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012 somit folgende Unterschiede bei den Mittelwerten. Zwischen Körnermais 1 in konventioneller und biologischer Bewirtschaftung besteht ein statistisch signifikanter Unterschied von 30 %. Bei Körnermais 2 besteht zwischen konventioneller und biologischer Bewirtschaftung kein statistisch signifikanter Unterschied. Auch unterscheiden sich weder die beiden biologisch produzierten Körnermaisvarianten, noch die beiden konventionell produzierten Körnermaisvarianten statistisch signifikant voneinander. Körnermais 1 liegt bei biologischer Wirtschaftsweise also als einzige Variante signifikant hinter den drei anderen Varianten, dies liegt wahrscheinlich daran, dass bei Körnermais 1 die Vorfrucht Kürbis wesentlich später geerntet wird als die Triticale als Vorfrucht von Körnermais 2. Durch die längere Phase des Zwischenfruchtanbaus nach Getreide, bleibt den Leguminosen mehr Zeit um Luftstickstoff zu binden, der dann für den Körnermais zur Verfügung steht.

Bei Triticale gibt es einen signifikanten Unterschied von 50 %, was den größten Unterschied zwischen der konventionellen und der biologischen Wirtschaftsweise darstellt.

Bei Kürbis beträgt der ebenfalls statistisch signifikante Unterschied immerhin 32 %.

Über den gesamten Zeitraum von 2010 bis 2012 gesehen gibt es bei der Streuung der Erträge in den einzelnen Varianten weniger große Unterschiede als in den einzelnen Jahren.

Zur Verdeutlichung der Ausführung wurde mittels SPSS ein Boxplot (Abbildung 24) erstellt. Hier sind die Mittelwerte und die Streuung der jeweils vier Wiederholungen in der Variante ersichtlich.



**Abbildung 28: Boxplot der Durchschnittserträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder in [kg/ha] über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012**

## 5.4 Ergebnisse allgemein

Das Kapitel 5.2.2 *Ergebnisse 2010* ist in sehr hoher Detaillierung ausgeführt. Die folgenden Kapitel für die Jahre 2011 und 2012, bzw. die Kapitel mit der Bewertung des gesamten Beobachtungszeitraumes von 2010 bis 2012 können von der Systematik her analog zu diesem Kapitel gelesen werden. Um Wiederholungen zu vermeiden ist die Detaillierung nicht mehr so hoch wie bei den Ergebnissen zum Versuchsjahr 2010.

Bezugsgrößen bei der Bewertung der Ergebnisse:

- Wird im Text bzw. einer Abbildung eine **Variante** genannt, beziehen sich die Werte auf ein Fruchtfolglied und die Fläche von einem Hektar (**1 ha**).
- Wird eine **Fruchtfolge** genannt, handelt es sich um 4 Fruchtfolglieder zu je einem Hektar (**4 ha**).
- Wird eine **Fruchtfolge** über den gesamte **Zeitraum von drei Jahren** bewertet, beziehen sich die Werte auf **12 Hektar**.

### 5.4.1 Ergebnisse 2010

#### Konventionelle Fruchtfolge

Aus Tabelle 24 ist der gesamte Energieinput bei der konventionellen Bewirtschaftung im Jahr 2010 ersichtlich.

Es wird jedes Fruchtfolgeglied in einer eigenen Spalte ausgewiesen. Die letzte Spalte beinhaltet Summenwerte des jeweiligen Inputfaktors über die gesamte Fruchtfolge.

Die ersten fünf Zeilen betreffen den direkten Energieinput in Form berechnet mittels Energieäquivalent für Dieselkraftstoff.

Zeile sechs – Trocknung, betrifft nur die beiden Fruchtfolgeglieder Körnermais 1 und Körnermais 2. Wie bereits beschrieben wird Getreide bis zum Erreichen des gewünschten Wassergehaltes von 14 % im Korn am Feld belassen und für die Trocknung von Kürbis gibt es keine Werte in der vorhandenen Literatur.

In den Zeilen acht bis elf sind die indirekten Energieaufwände ersichtlich. Bei den Maschinen handelt es sich um einen Pauschalwert für die vorgegebene Fläche von einem Hektar.

**Tabelle 24: Werte für den Energieinput der konventionellen Fruchtfolge 2010**

Konventionell	Körnermais 1	Körnermais 2	Triticale	Kürbis	∑ Konv.
Bodenbearbeitung	1.560	2.031	1.636	1.560	6.787
Düngung	263	263	58	167	752
Saat	161	568	711	932	2.372
Pflanzenschutz	273	273	52	273	872
Ernte	1.099	1.099	1.667	1.793	5.658
Trocknung	7.421	7.372			14.793
Transport	69	68	106	19	263
Düngemittel	4.317	4.317	4.687	5.424	18.745
Saatgut*	2.800	3.350	5.412	656	12.218
PSM	331	331	33	617	1.312
Maschinen	1.956	1.956	1.956	1.956	7.824
<b>∑ Input [MJ/ha]</b>	<b>20.250</b>	<b>21.629</b>	<b>16.319</b>	<b>13.397</b>	<b>71.595</b>

\*Aufwand für Hauptkultur und Begrünung

Die Trocknung macht überraschender Weise einen sehr großen Teil des Energieinputs bei der Produktion von Körnermais aus. Im Fall des Fruchtfolgegliedes Körnermais 1 sind es 37 % des gesamten Energieinputs, bei Körnermais 2 sind es immerhin noch 34 %. Sie liegen damit weit höher als die Energieaufwände für Düngemittel, welche bei KM1 bei 21 % und bei KM2 bei 20 % liegen. Das ist auch durch den Einsatz von Gülle zur Stickstoffversorgung der Pflanzen bedingt, welche als Kuppelprodukt aus der Tierhaltung angesehen wird und somit bis auf den Aufwand der Ausbringung, nicht in die energetische Bewertung mit einfließt.

**Tabelle 25: Übersicht der energetischen Kennzahlen der konventionellen Fruchtfolge 2010**

Konventionell	Körnermais 1 <sup>1)</sup>	Körnermais 2 <sup>1)</sup>	Triticale <sup>1)</sup>	Kürbis
Input [MJ/ha]	20.250	21.629	16.431	13.378
Output [MJ/ha]	138.732	136.031	210.684	19.895
Output/Input Verhältnis	6,9	6,3	12,8	1,5
Energieintensität [MJ/kg]	2,7	2,9	2,7	19,0
Netto-Energiebilanz [MJ/ha]	118.481	114.402	194.253	6.517

<sup>1)</sup> nur Korn <sup>2)</sup> und Stroh

Werden die Ergebnisse der Berechnung des Energieinputs mit dem Energieoutput in Form des Ertrages der Kulturpflanzen gegenübergestellt, erhält man die gewünschten energetischen Kennzahlen die in Tabelle 25 für die konventionelle Bewirtschaftung im Jahr 2010 dargestellt sind.

Überraschend hoch erscheint in diesem Fall der hohe Energieoutput bei Getreide. Das liegt daran, dass im Jahr 2010 neben dem Kornertrag eine große Menge des Strohs abgeführt wurde. Der reine Kornertrag ist mit einem Wert von 113.776 MJ zu bewerten, was sowohl das Output/Input Verhältnis auf einen Wert von 5,9 korrigieren. Die Energieintensität würde, wenn der Strohertrag von 5475 kg ebenfalls berücksichtigt wird, auf 1,4 MJ/kg fallen.

Aus der Tabelle 25 ist klar ersichtlich, dass die Energieintensität bei Kürbis wesentlich höher liegt als bei den restlichen Kulturen. Auch sind das Output/Input Verhältnis und die Netto Energiebilanz wesentlich geringer.

### **Biologische Fruchtfolge**

Der Aufbau der Tabelle 26 ist annähernd gleich wie bei der konventionellen Fruchtfolge. Was in der Tabelle auffällt ist der Umstand, dass sehr geringe Aufwände für die Düngung angegeben sind und die Zeile Pflanzenschutzmittel leer bleibt. Dies hat mit der biologischen Bewirtschaftung zu tun, wo keine mineralischen Düngemittel bzw. synthetische Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden. Der Aufwand in der Zeile Düngung betrifft die Ausbringung von Kalk auf die Versuchspartzen. In der Zeile Düngemittel ist ebenfalls nur der Nährstoff CaO bewertet.

**Tabelle 26: Werte für den Energieinput der biologischen Fruchtfolge 2010**

<b>Biologisch</b>	<b>Körnermais 1</b>	<b>Körnermais 2</b>	<b>Getreide</b>	<b>Kürbis</b>	<b>Σ BIO</b>
Bodenbearbeitung	1.428	1.428	1.636	1.428	5.921
Düngung		138		138	275
Saat	161	161	711	464	1.498
Pflanzenschutz	664	664	134	885	2.347
Ernte	1.099	1.099	848	1.793	4.838
Trocknung	8.238	9.458			17.695
Transport	63	67	31	15	176
Düngemittel		1.555		1.555	3.110
Saatgut*	2.900	2.900	7.961	2.780	16.541
PSM					0
Maschinen	1.956	1.956	1.956	1.956	7.824
<b>Σ Input [MJ/ha]</b>	<b>16.509</b>	<b>19.426</b>	<b>13.278</b>	<b>11.014</b>	<b>60.227</b>

\*Aufwand für Hauptkultur und Begrünung

Betrachtet man den Faktor Trocknung unter der Hinsicht, dass keine mineralischen Düngemittel eingesetzt werden, erhöht sich der Anteil der Energieaufwände für die Trocknung am gesamten Energieinput noch einmal drastisch. Beim Fruchtfolgeglied Körnermais 1 macht die Trocknung 50 % des Energieinputs aus, beim Fruchtfolgeglied Körnermais 2, mit Kalkdüngung, immerhin noch 49 %.

Ebenfalls auffällig erscheint der enorm hohe Energieinput von 7961 MJ für Saatgut im Fruchtfolgeglied Getreide. Um, mangels der Möglichkeit der Düngung mit mineralischem Stickstoff, die notwendige Menge an Luftstickstoff zu binden, wird mit einer Kleeuntersaat im Getreide gearbeitet. Nach der Ernte im Juli wird eine Winterzwischenfrucht, die ebenfalls einen Leguminosenanteil enthält, angebaut. Die hohen Mengen an Saatgut und der Umstand, dass gerade Leguminosen einen sehr hohen Energieaufwand bei der Saatgutaufbereitung erfordern, führen somit zu einem Anteil des Saatgutes am Energieinput von 60 %.

Mit den berechneten Werten für den Energieinput und den Werten für den Energieoutput, können die gewünschten energetischen Kennzahlen in Tabelle 27 erstellt werden.

**Tabelle 27: Übersicht der energetischen Kennzahlen der biologischen Fruchtfolge 2010**

<b>Biologisch</b>	<b>Körnermais 1</b>	<b>Körnermais 2</b>	<b>Triticale</b>	<b>Kürbis</b>
Input [MJ/ha]	16.446	19.359	13.247	10.999
Output [MJ/ha]	136.253	124.172	66.811	17.716
Output/Input Verhältnis	8,3	6,4	5,0	1,6
Energieintensität [MJ/kg]	2,2	2,9	3,7	17,6
Energiebilanz [MJ/ha]	119.807	104.813	53.564	6.717

Nach dem enorm hohen Ertragswert beim konventionellen Getreide, bleiben die Erträge in der biologischen Fruchtfolge hinter den Erwartungen zurück. Bei der biologischen Bewirtschaftung wird aber auch, um Bodenleben zu fördern, bzw. eine positive Humusbilanz zu erreichen, kein Stroh von den Flächen abgeführt.

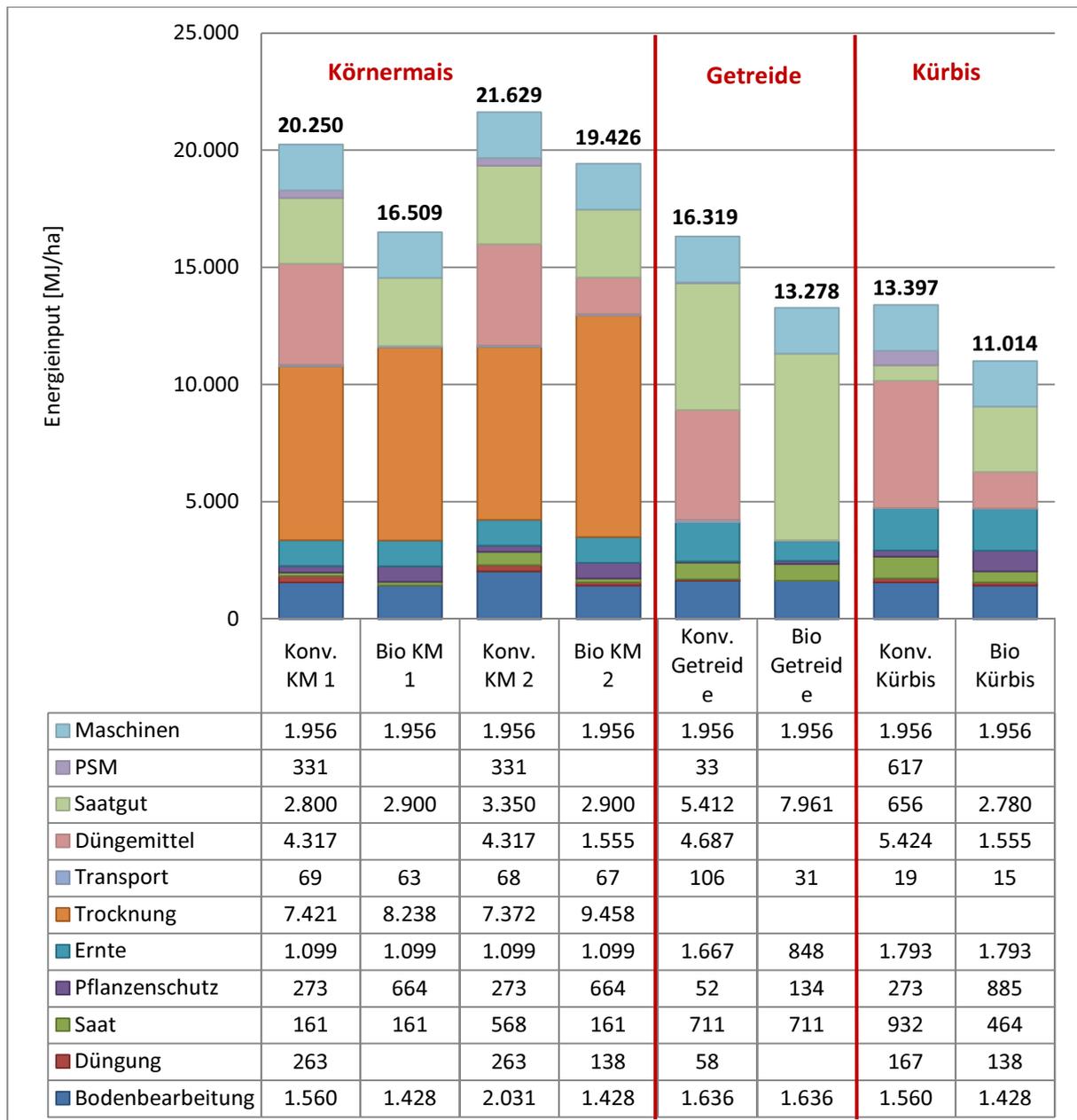
Auch hier ist die Energieintensität beim Kürbis überraschend hoch. Die Kultur des Ölkürbis bringt zwar einen hohen Deckungsbeitrag, weil die geernteten Kürbiskerne mit einem Erzeugerpreis von 3.625,59 € pro Tonne um 2.436 % höher liegt als bei Körnermais mit 148,82 €, bzw. um 2.544 % oder Faktor 25,4 höher als bei Triticale mit einem Erzeugerpreis von 142,52 € (BMLFUW 2012).

In Abbildung 29 werden diese Werte nochmals grafisch dargestellt. Ebenfalls gibt es die Gegenüberstellung zwischen konventioneller und biologischer Fruchtfolge. Das Ergebnis bleibt, wenig überraschend, ein ähnliches. Beim Energieeinsatz stechen die orangen Blöcke für den Energieaufwand bei der Trocknung ins Auge. Sie wirken in Abbildung 29 sehr dominant im Vergleich zu den restlichen Blöcken.

Der Energieaufwand für Saatgut, in hellem grün dargestellt, dominiert bei den Fruchtfolgliedern Getreide, wobei bei der biologischen Fruchtfolge hier klare Vorteile zu sehen sind.

Bei den Düngemitteln ist nur ein geringer Aufwand in der biologischen Bewirtschaftung auszumachen, hier liegen klarerweise die Aufwände auf Seiten der konventionellen Bewirtschaftung.

Die Pflanzenschutzmittel fallen mit einem Aufwand von 33 MJ bei konventionellem Getreide, 331 MJ bei Körnermais und 617 MJ bei Kürbis mit einem Anteil am Energieinput zwischen 0,2 % bei Getreide, 1,5 % bzw. 1,6 % bei Körnermais und 4,6 % bei Kürbis, nicht ins Gewicht. Dieser Aufwand wird durch den Mehraufwand bei der mechanischen Unkrautbekämpfung in der biologischen Fruchtfolge, mehr als aufgewogen.

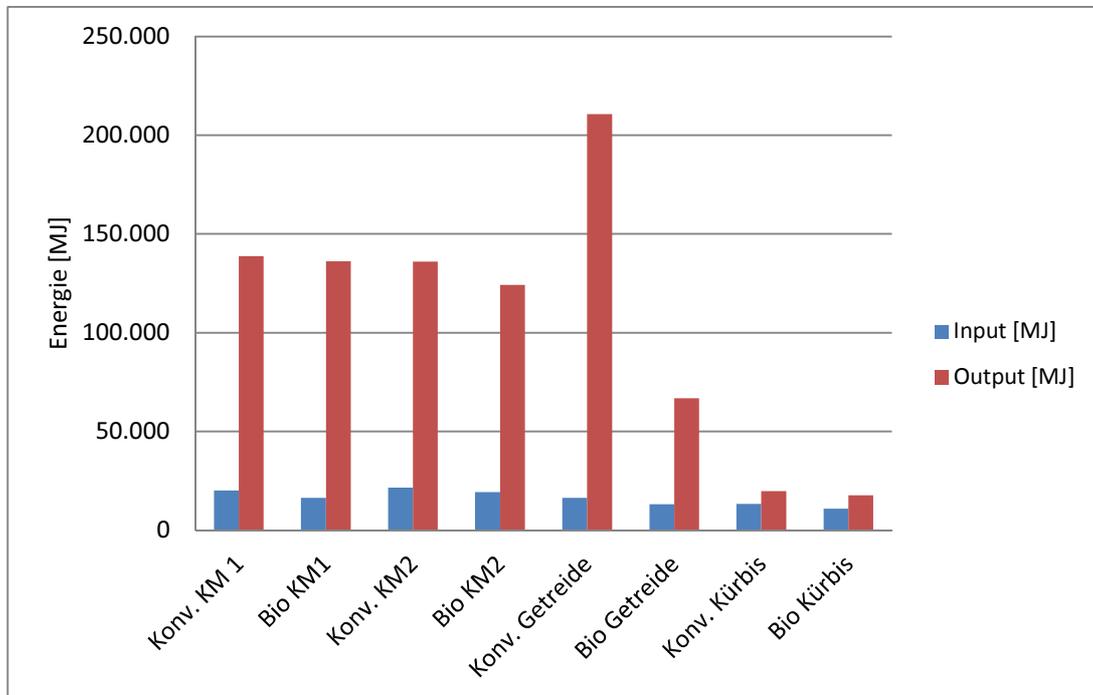


**Abbildung 29: Energieinput [MJ/ha] auf einzelne Varianten aufgeschlüsselt 2010**

In Abbildung 30 sind der Energieinput und der Energieoutput in MJ dargestellt. Der Input erscheint, zumindest in dieser Darstellung, nicht groß zu variieren. Betrachtet man allerdings die zuvor gezeigten Tabellen 26 und 27 kommt man auf einen Energieinput zwischen 11.014 MJ bei Kürbis biologisch und 21.629 MJ bei Körnermais 2 konventionell bewirtschaftet. Somit ein signifikanter Unterschied von 98 %.

Wesentlich größer erscheinen die Unterschiede beim Energieoutput. Hier geht die Spanne von 17.716 MJ vom biologisch bewirtschafteten Kürbis bis hin zu 210.684 MJ beim konventionell bewirtschafteten Körnermais 2. Ein Unterschied von 1.189 %.

Wesentlich genauere Ergebnisse bringen hier die energetischen Kennzahlen, die sowohl den Energieinput mit dem Energieoutput gegenüberstellen, als auch die Ertragsmenge berücksichtigen.



**Abbildung 30: Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2010**

In Abbildung 31 ist das Output/Input Verhältnis der einzelnen Fruchtfolgeglieder ersichtlich. Augenscheinlich ist, wie bereits in der Tabelle 26 ersichtlich, das geringe Verhältnis sowohl beim biologisch (1,6) als auch beim konventionell bewirtschafteten Kürbis (1,5).

Das Fruchtfolgeglied Kürbis bleibt somit weit hinter den Fruchtfolgegliedern von Körnermais 1 (konventionell 6,9, biologisch 8,3), Körnermais 2 (konventionell 6,3, biologisch 6,4) und vor allem Getreide (konventionell 12,8, biologisch 5,0) zurück.

Vergleicht man die Fruchtfolgeglieder zwischen konventioneller und biologischer Wirtschaftsweise untereinander, so ergeben sich große Unterschiede beim Getreide (hier wird der Strohertrag der konventionellen Bewirtschaftung bei der Berechnung berücksichtigt) wo die konventionelle Bewirtschaftung um 154 % besser bewertet ist. Auf der anderen Seite gibt es einen kleinen Vorteil von 21 % für Körnermais 1 in der biologischen Bewirtschaftung.

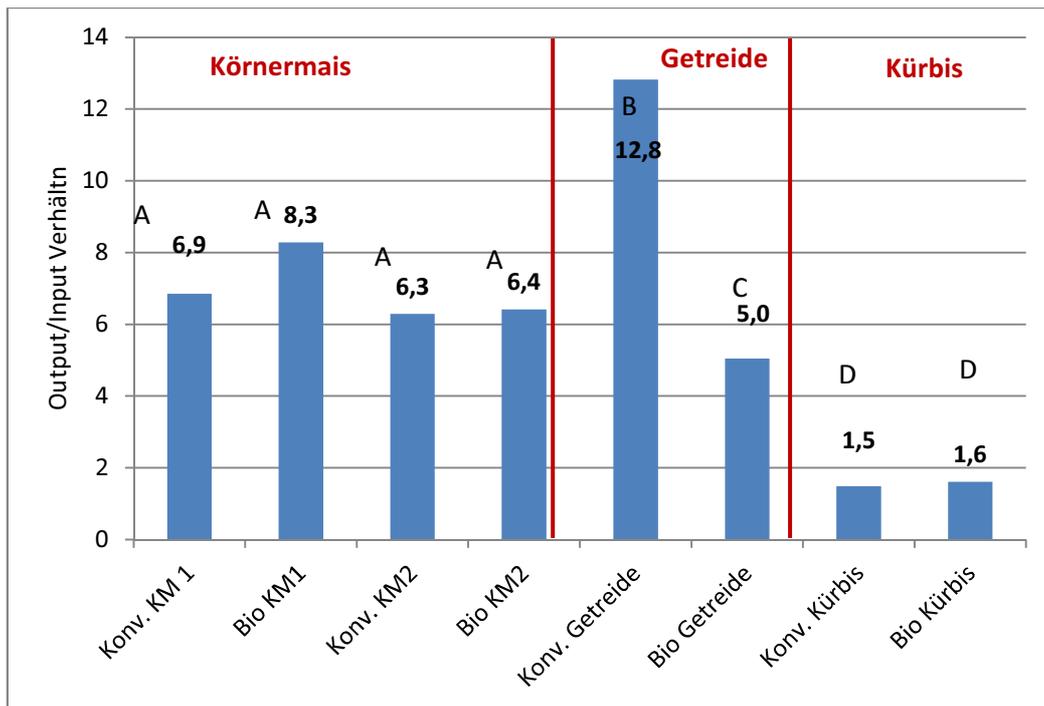


Abbildung 31: Output/Input Verhältnis der einzelnen Varianten 2010

In Abbildung 32 wird der Unterschied in der Energieintensität, also dem notwendigen Energieeinsatz in MJ pro kg Erntegut, zwischen Kürbis und Körnermais bzw. Getreide deutlich. Kürbis liegt zwischen 17,6 (BIO) und 19,3 (Konv.) MJ pro kg Erntegut. Triticale liegt zwischen 2,7 (Konv.) und 3,7 (BIO) und Körnermais liegt in einem Bereich zwischen 2,2 (BIO KM1) und 2,9 (Konv. KM2) MJ pro kg.

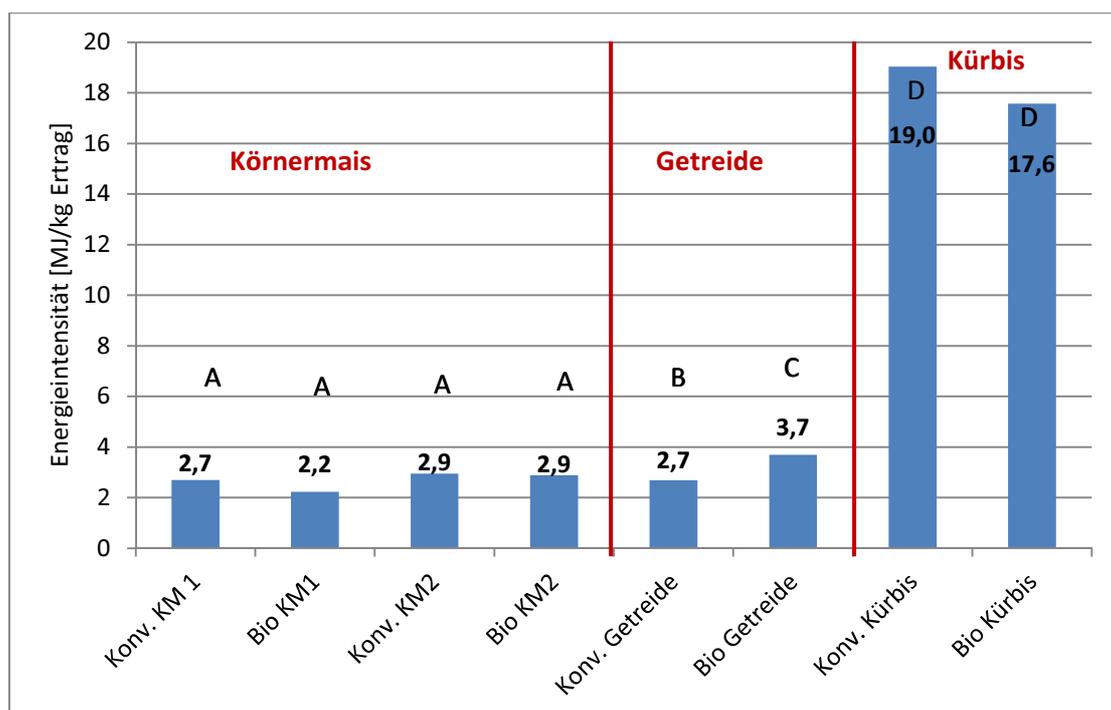
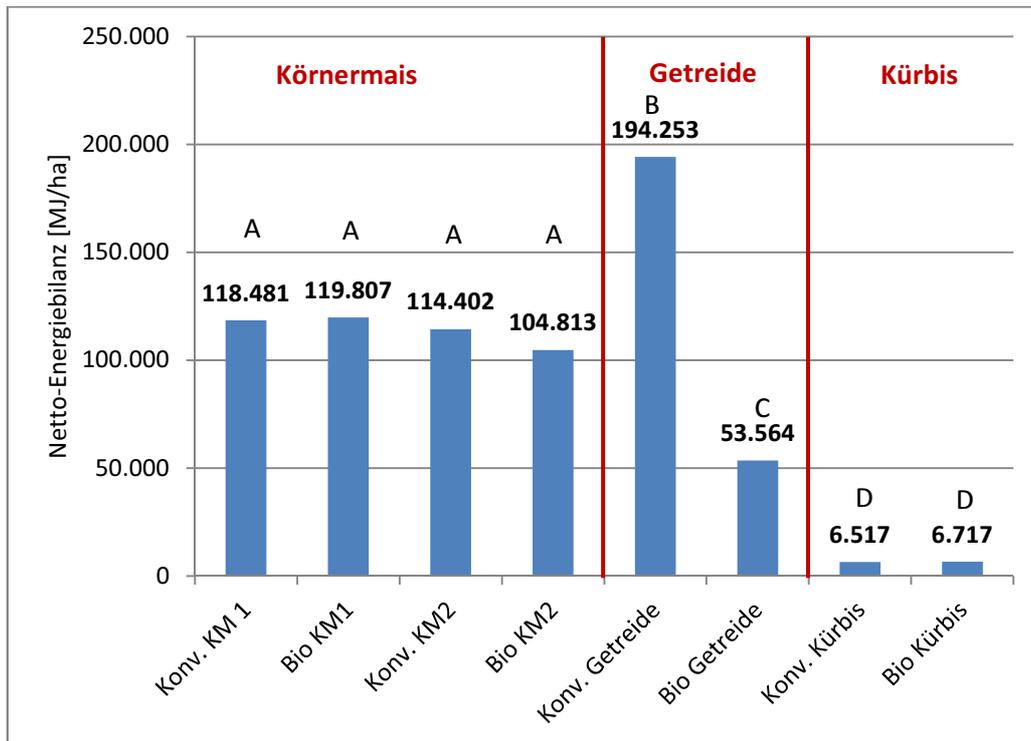


Abbildung 32: Energieintensität [MJ/kg] der einzelnen Varianten 2010

Bei der Netto Energiebilanz in Abbildung 33 werden die Daten aus der Tabelle auch in grafischer Form bestätigt.



**Abbildung 33: Netto-Energiebilanz [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2010**

### **Bewertung der beiden Bewirtschaftungsmodelle für 2010**

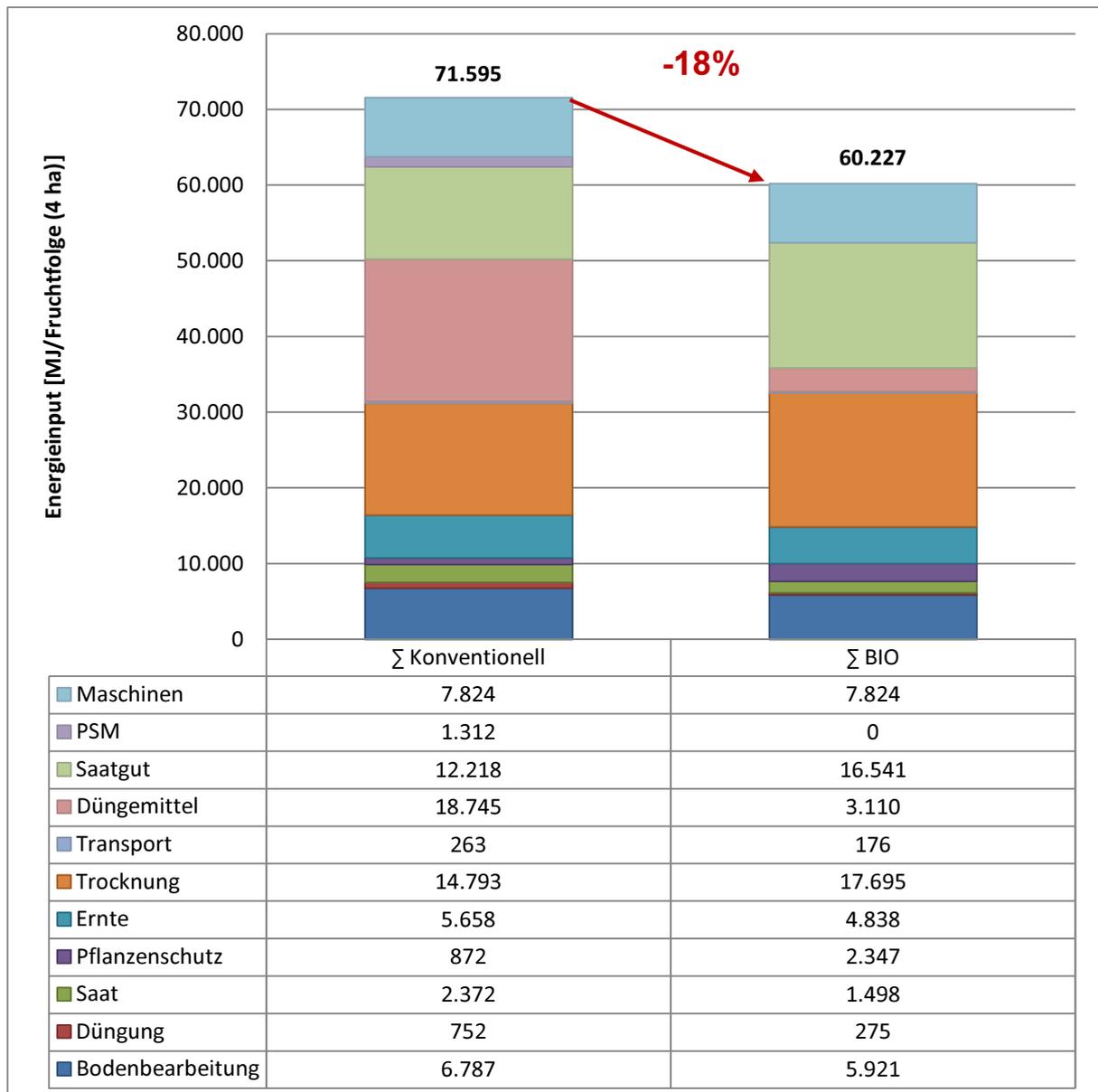
Um in späterer Folge gesamte Jahre miteinander vergleichen zu können, bzw. im letzten Schritt die konventionelle und die biologische Fruchtfolge über den Zeitraum von drei Jahren (2010 bis 2012) vergleichen zu können, werden Summenwerte gebildet. Eine Summe ( $\Sigma$  Konventionell) für alle Fruchtfolgeglieder in der konventionellen Fruchtfolge und eine Summe ( $\Sigma$  BIO) für alle Fruchtfolgeglieder der biologischen Fruchtfolge des Jahres 2010.

In Abbildung 34 werden diese Summenwerte miteinander verglichen. Dabei ergibt sich ein Unterschied im gesamten Energieinput zwischen den konventionellen Fruchtfolgen mit 71.595 MJ und den biologischen Fruchtfolgen mit 60.227 MJ von 11.368 MJ, oder in Prozenten ausgedrückt 18 %.

Dieser Unterschied beruht im Wesentlichen auf den geringere Energieaufwände für die Düngemittel (- 15.634 MJ) und den Verzicht auf Pflanzenschutzmitteln (- 1.312 MJ).

Bei der Trocknung (+ 2.902 MJ) und beim Energieinput für Saatgut (+ 4.323 MJ) liegen die Aufwände auf Seiten der biologischen Fruchtfolge höher.

Ein Detailvergleich der eingesetzten Energie ist in der Legende der Abbildung 34 möglich.



**Abbildung 34: Übersicht über den Energieinput [MJ] der summierten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Körnermais - Triticale - Kürbis) 2010**

In Abbildung 35 können die Unterschiede im Energieinput und im Energieoutput der beiden Bewirtschaftungsmodelle verglichen werden. Abbildung 36 gibt aufgrund dieser Daten einen Überblick über das Output/Input Verhältnis.

Mit einem Verhältnis von 7,0 liegt die konventionelle Fruchtfolge aufgrund des um 161 GJ höheren Ertrages, oder in Prozent ausgedrückt 47 % höheren Energieoutputs, trotz eines um

18% höheren Energieinputs besser als die biologische Fruchtfolge mit einem Output/Input Verhältnis von 5,7.

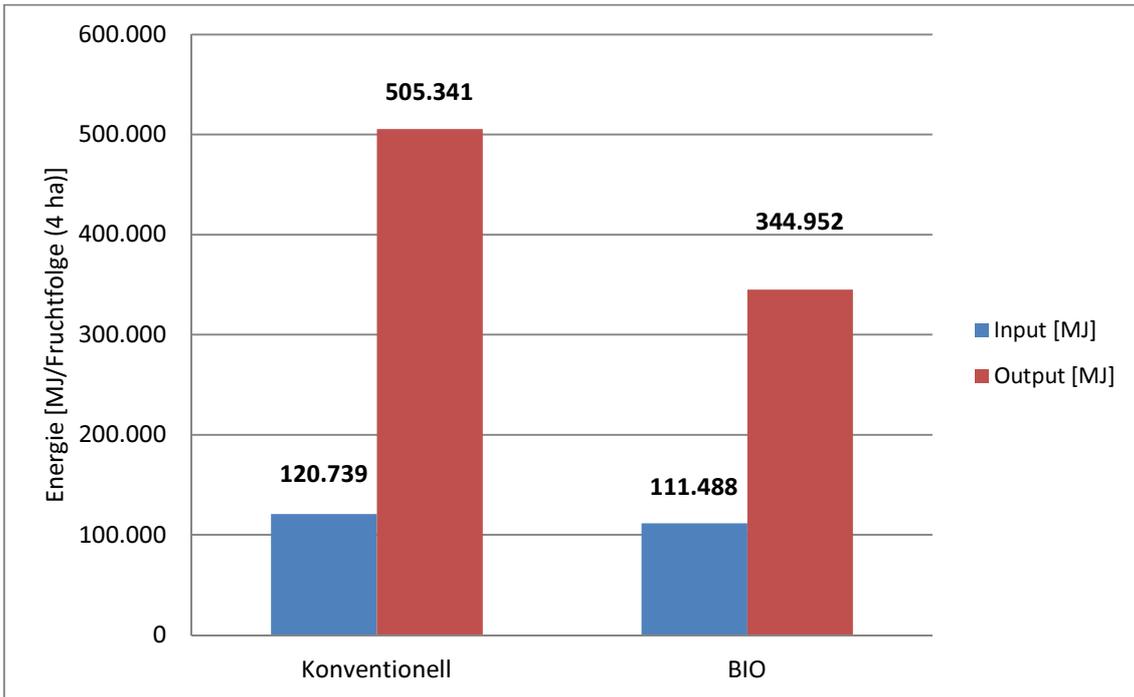


Abbildung 35: Energieinput [MJ] und Energieoutput [MJ] der konventionellen und biologischen Fruchtfolge Körnermais - Körnermais - Triticale - Kürbis ) 2010

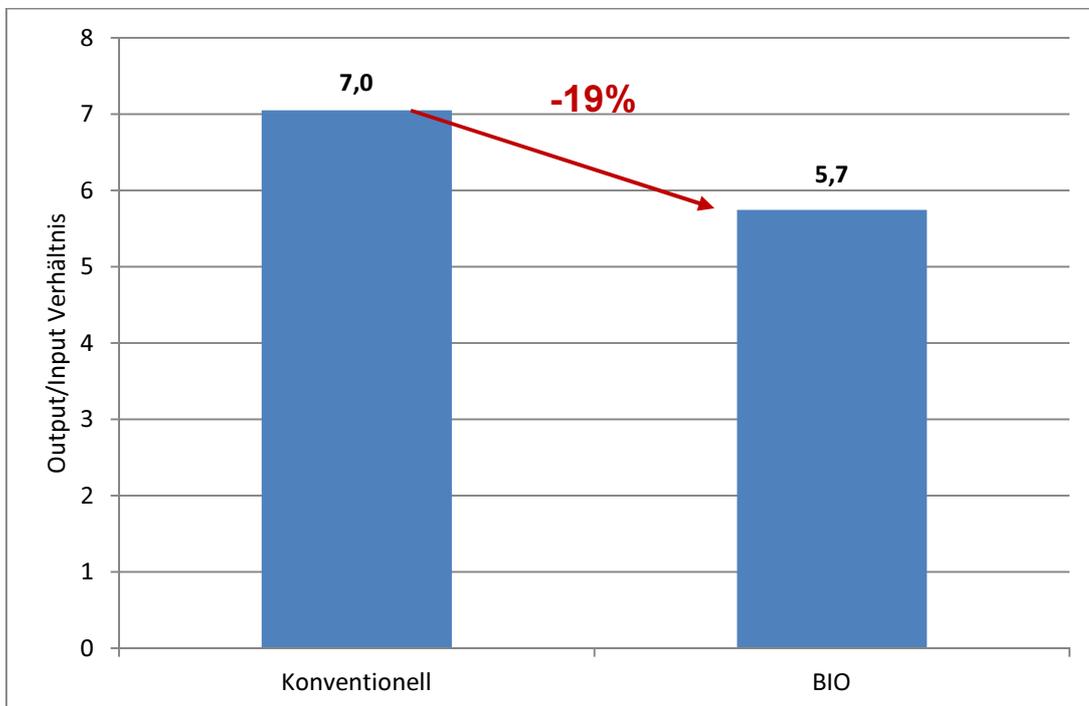
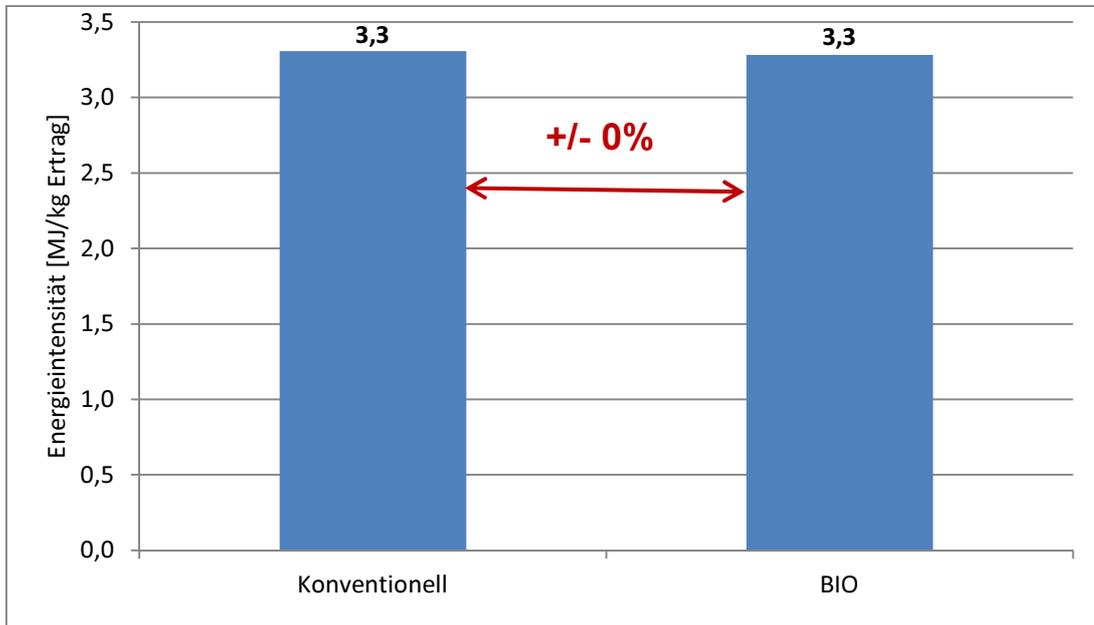


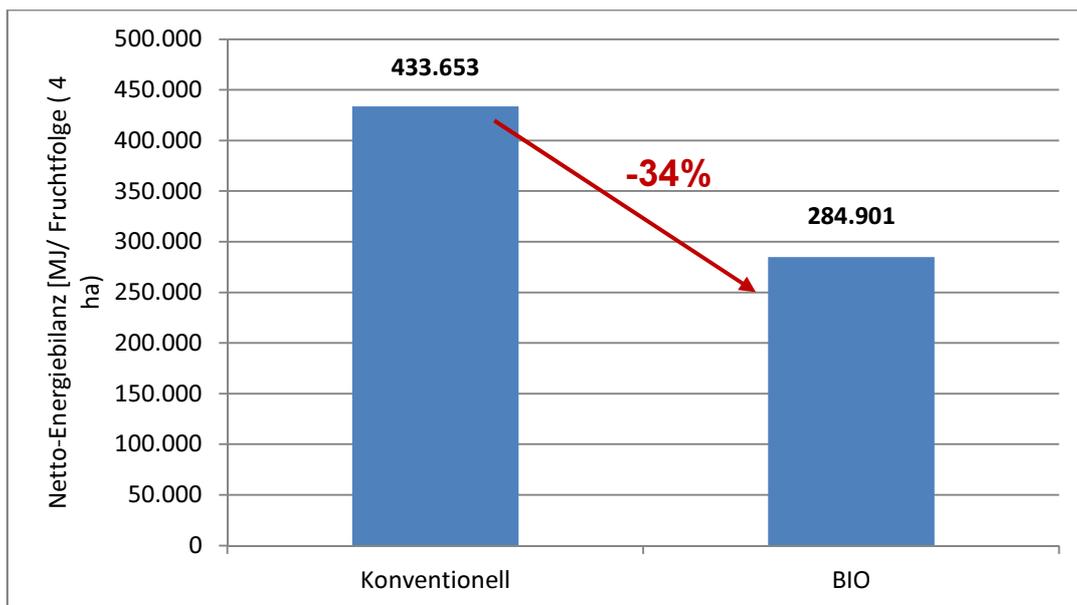
Abbildung 36: Output/Input Verhältnis der konventionellen und biologischen Fruchtfolge 2010

In Abbildung 37 ist die Energieintensität in MJ pro kg Erntegut ersichtlich. Dabei unterscheiden sich das konventionelle (3,3 MJ/kg) und das biologische (3,3 MJ/kg) System nur unwesentlich.



**Abbildung 37: Energieintensität [MJ/kg Ertrag] der konventionellen und biologischen Fruchtfolge 2010**

Bei der Netto-Energiebilanz hat die konventionelle Fruchtfolge, aufgrund der höheren Erträge, wieder einen wesentlichen Vorteil. Mit 433.653 MJ liegt sie um 148.752 MJ, oder 34%, höher als die biologische Fruchtfolge mit einer Netto Energiebilanz von 284.901 MJ.



**Abbildung 38: Netto-Energiebilanz [MJ] der konventionellen und biologischen Fruchtfolge (je 4 ha) 2010**

## 5.4.2 Ergebnisse 2011

### Konventionelle Fruchtfolge

In Tabelle 28 ist der gesamte Energieinput der konventionellen Bewirtschaftung 2011 ersichtlich. Die Ergebnisse sind analog wie die Ergebnisse des Jahres 2010 zu lesen.

Die Trocknung des Körnermais macht beim Fruchtfolgeglied Körnermais 1 mit 6909 MJ (39 %) wie auch beim Fruchtfolgeglied Körnermais 2 mit 5950 MJ (35 %) einen sehr hohen Anteil am gesamten Energieinput aus. Auch in diesem Fall wieder wesentlich höher als der Aufwand für Düngemittel welche zwischen 14 % und 15 % liegen.

Auch in diesem Jahr spielt der Einsatz von Gülle, die als Kuppelprodukt bewertet wird und einzig durch den Energieaufwand für den Transport zum Feld und die Ausbringung am Feld in der Energiebilanzierung berücksichtigt wird. Der Einsatz von Düngemitteln ist im Jahr 2011 im Vergleich zu 2010 wesentlich ebenfalls geringer.

**Tabelle 28: Werte für den Energieinput der konventionellen Fruchtfolge 2011**

Konventionell	Körnermais 1	Triticale	Körnermais 2	Kürbis	Σ KON
Düngung	205	205	205	167	782
Saat	161	711	161	1.179	2.213
Pflanzenschutz	52	52	52	52	208
Ernte	1.099	1.667	1.099	1.793	5.658
Trocknung	6.909		5.950		12.859
Transport	97	69	88	21	276
Düngemittel	2.577	2.189	2.577	6.475	13.818
Saatgut*	2.900	2.371	2.900	1.380	9.551
PSM	275	39	275	288	877
Maschinen	1.956	1.956	1.956	1.956	7.824
<b>Σ Input [MJ/ha]</b>	<b>17.790</b>	<b>10.896</b>	<b>16.823</b>	<b>14.950</b>	<b>60.459</b>

\*Aufwand für Hauptkultur und Begrünung

Die energetischen Kennzahlen für die konventionelle Bewirtschaftung im Jahr 2011, sind in Tabelle 29 dargestellt. Durch wesentlich höhere Erträge und teilweise geringere Energieaufwände beim Körnermais als im Jahr 2010 ergeben sich wesentlich höher Zahlen für das Output/Input Verhältnis. So liegt Körnermais 1 mit 11,5 um 67 % und Körnermais 2 mit einem Wert von 11 sogar um 75 % höher als im Jahr zuvor. Bei Getreide mit 13,3 und Kürbis mit 1,1 sinken die Verhältnisse leicht im Jahresvergleich.

**Tabelle 29: Übersicht der energetischen Kennzahlen der konventionellen Fruchtfolge 2011**

<b>Konventionell</b>	<b>Körnermais 1</b>	<b>Triticale</b>	<b>Körnermais 2</b>	<b>Kürbis</b>
Input [MJ/ha]	17.790	10.896	16.823	14.950
Output [MJ/ha]	203.704	144.719	185.056	16.244
Output/Input Verhältnis	11,5	13,3	11,0	1,1
Energieintensität [MJ/kg]	1,6	1,6	1,7	26,0
Energiebilanz [MJ/ha]	185.913	133.824	168.233	1.294

Auch im Jahr 2011 wird ein Teil des Stroh abgeführt und erhöht somit den Energieoutput des Fruchtfolgliedes Getreide. Im Vergleich zum Jahr 2010 wo noch 5475 kg Stroh abgeführt wurden, sind es aber nur mehr 1000 kg.

Beim Kürbis fällt das Ergebnis noch geringer aus als im Jahr 2010. Mit einem Output/Input Verhältnis von nur noch 1,1 liegt der Input fast so hoch wie der Output. Auch in diesem Jahr stellt sich der Kürbis, auf energetischer Sicht betrachtet, als nicht effektiv dar.

### **Biologische Fruchtfolge**

Bei der biologischen Wirtschaftsweise sind die Unterschiede zur konventionellen Wirtschaftsweise wieder ähnlich wie im Jahr zuvor. Die Düngemittel betreffen in diesem Jahr aber nicht nur die Kalkdüngung, sondern es wird aufgrund der schlechten Versorgung mit Stickstoff das im Biolandbau zugelassene Düngemittel Biofert eingesetzt.

Bei Biofert handelt es sich um ein Abfallprodukt aus der Zitronensäureproduktion, wobei der Pilz der die Zitronensäure produziert nach seinem Einsatz getrocknet und pelletiert wird. Neben dem Gehalt an 4% Stickstoff enthält Biofert laut Hersteller folgende Inhaltsstoffe: mind. 40 % organische Substanz, 1,5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 11 % CaO, 0,5 % K<sub>2</sub>O und 0,05 - 0,25 % Zink (Quelle: <http://www.biofert.at/index.php/produktion-herstellung>).

Auf Pflanzenschutzmittel wird in der biologischen Wirtschaftsweise komplett verzichtet.

**Tabelle 30: Werte für den Energieinput der biologischen Fruchtfolge 2011**

Biologisch	Körnermais 1	Getreide	Körnermais 2	Kürbis	∑ BIO
Bodenbearbeitung	1.182	2.108	708	1.182	5.180
Düngung	29			247	276
Saat	408	464	161	464	1.498
Pflanzenschutz	933	269	711	577	2.489
Ernte	1.099	848	1.099	1.793	4.838
Trocknung	3.490		7.178		10.668
Transport	55	25	48	16	144
Düngemittel	1.765			2.147	3.912
<b>Saatgut*</b>	7.900	2.461	2.900	12.820	26.081
PSM					0
Maschinen	1.956	1.956	1.956	1.956	7.824
<b>∑ Input [MJ/ha]</b>	<b>18.816</b>	<b>8.131</b>	<b>14.762</b>	<b>21.201</b>	<b>62.910</b>

\*Aufwand für Hauptkultur und Begrünung

Wird die Trocknung im Jahr 2011 betrachtet, so ist diese bei Körnermais 1 für 19 % des Energieinputs verantwortlich. Bei Körnermais 2 macht die Trocknung 49 % aus. Entscheidend für diesen hohen Unterschied sind der geringere Wassergehalt bei Körnermais 1, was schon zu diesem scheinbar geringeren Trocknungsaufwand führt, was aber in der Berechnung dadurch begünstigt wird, dass bei Körnermais 1 zusätzlich noch der Einsatz des Düngemittels Biofert und die wesentlich höheren Energiekosten für Saatgut in der Fruchtfolge (hier wird eine Begrünung kultiviert), welche den prozentuellen Aufwand für die Trocknung vermindern.

Im Vergleich zum Jahr 2010 bleibt der Wert von 49 % für die Trocknung von Körnermais 2 relativ konstant.

Die schon beschriebenen hohen Energieaufwände für Saatgut bei Körnermais 1 (42 %) werden im Jahr 2011 aber vom Aufwand beim Kürbis noch übertroffen. Hier machen die Aufwände von Saatgut fast 60 % aus. Auch die absolute Höhe des Energieaufwandes für Saatgut von 12.820 MJ erscheint enorm und übertrifft damit sogar den gesamten Energieinput bei Getreide (+ 58 %). Die enormen Energieaufwände entstehen durch eine anfängliche Begrünung, eine Kleeuntersaat und eine weitere Begrünung mit Wicke.

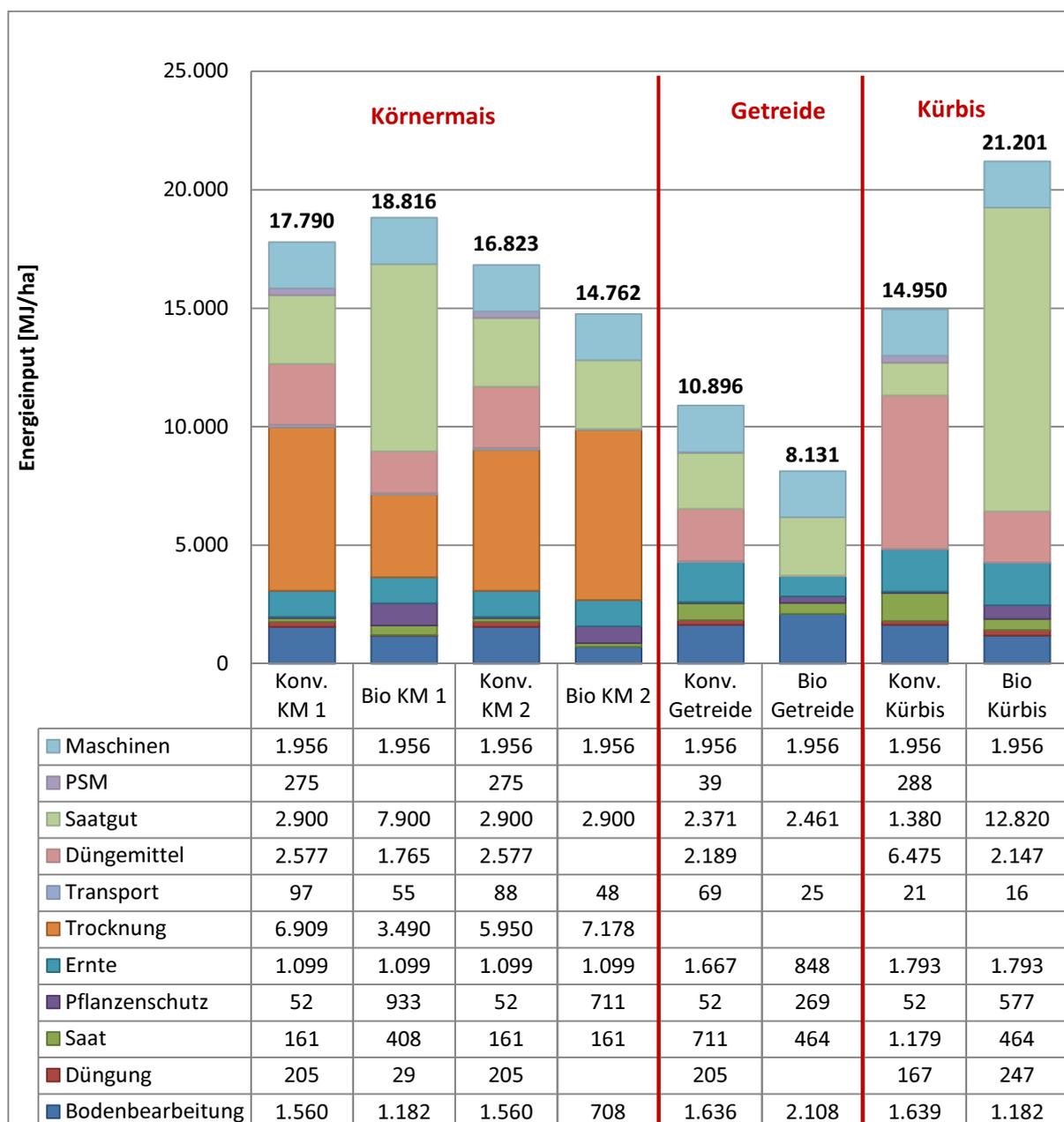
Wie in Tabelle 31 ersichtlich wirkt sich das sehr negativ auf das Output/Input Verhältnis, die Netto-Energiebilanz und auch die Energieintensität aus. So bedeutet das Output/Input Verhältnis von 0,5, dass nur die Hälfte der eingesetzten Energie mit dem Ertrag wieder erwirtschaftet werden kann. Es ergibt sich somit eine negative Netto-Energiebilanz von - 10.419 MJ.

**Tabelle 31: Übersicht der energetischen Kennzahlen der biologischen Fruchtfolge 2011**

Biologisch	Körnermais 1	Triticale	Körnermais 2	Kürbis
Input [MJ/ha]	18.816	8.131	14.983	21.201
Output [MJ/ha]	98.809	55.060	103.193	10.782
Output/Input Verhältnis	5,3	6,8	6,9	0,5
Energieintensität [MJ/kg]	3,5	2,7	2,7	56,0
Energiebilanz [MJ/ha]	79.992	46.929	88.210	-10.419

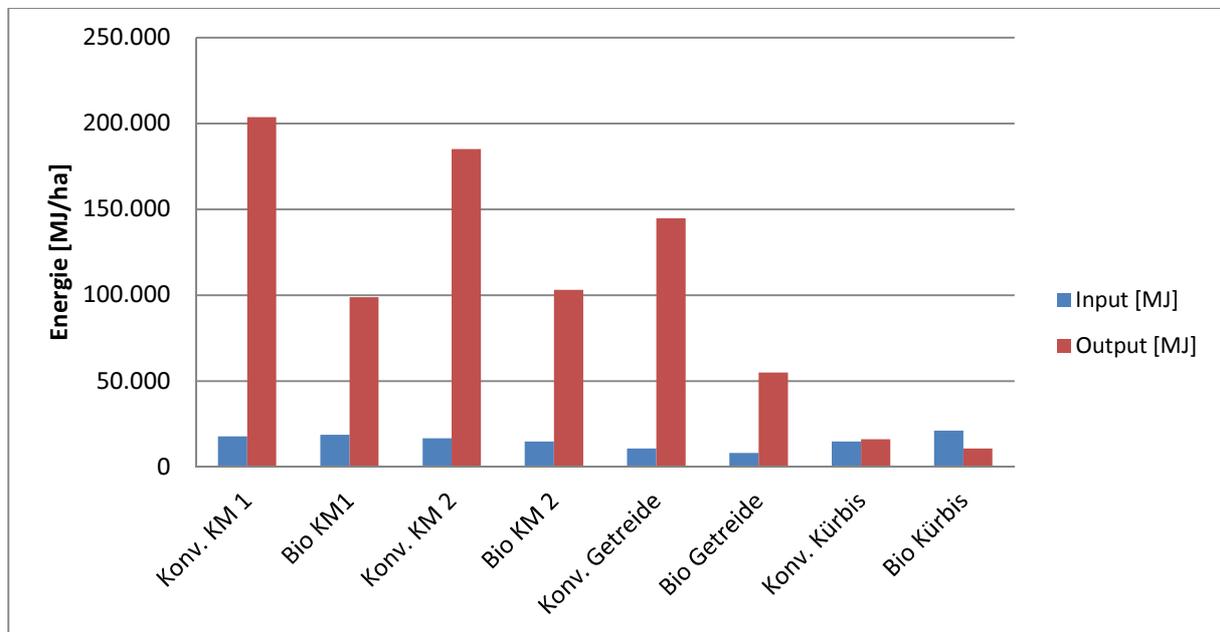
In weiterer Folge werden die Ergebnisse in den Abbildungen 39 - 43 grafisch dargestellt.

Abbildung 39 zeigt eine detaillierte Aufstellung der einzelnen Energieaufwände der einzelnen Fruchtfolgeglieder.



**Abbildung 39: Energieinput [MJ/ha] auf die einzelnen Varianten aufgeschlüsselt 2011**

In Abbildung 40 werden der Input [MJ/ha] und der Output [MJ/ha] für das Wirtschaftsjahr 2011 dargestellt.



**Abbildung 40: Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2011**

Abbildung 41 zeigt das Output/Input Verhältnis für das Jahr 2011 bezogen auf die einzelnen Fruchtfolglieder. Bei Körnermais ist hier das deutlich schlechtere Abschneiden der biologisch bewirtschafteten Flächen ersichtlich. Bei Getreide ist der Unterschied im Output zwischen der konventionellen und der biologischen Variante besonders hoch, , nachdem hier wieder ein Teil des Strohs abgeführt wird. Beim biologisch bewirtschafteten Kürbis gibt das Verhältnis von 0,5 an, dass doppelt so viel Energie eingesetzt wird, wie durch das Erntegut wieder abgeführt werden kann.

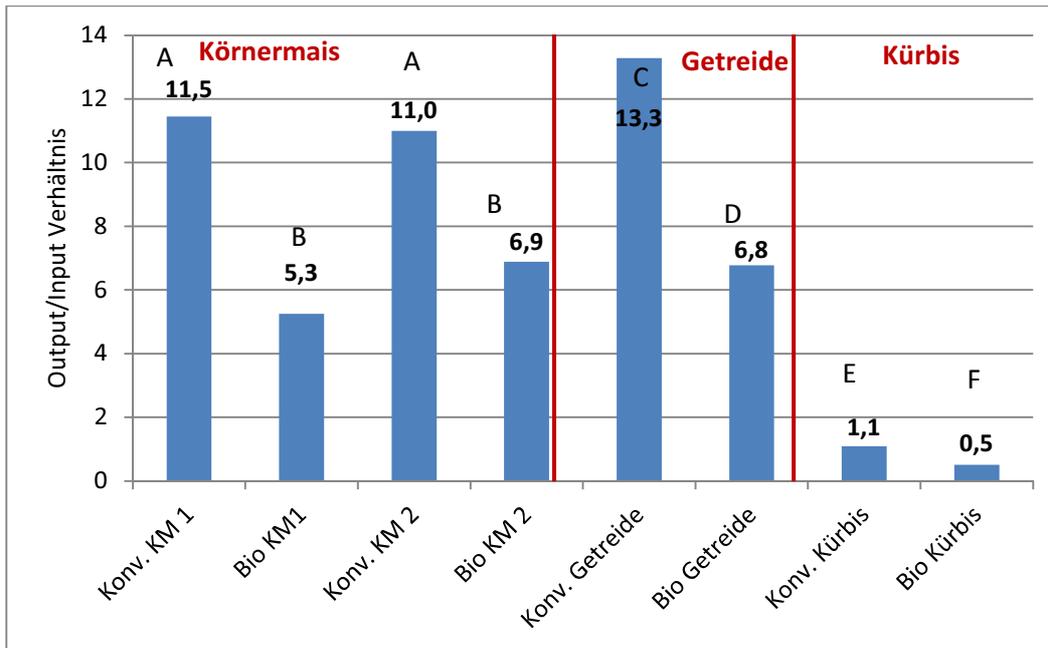


Abbildung 41: Output/Input Verhältnis der einzelnen Varianten 2011

Abbildung 42 verdeutlicht die Situation beim Ölkürbis. Hier müssen enorme Energiemengen eingesetzt werden um ein Kilogramm Kürbiskerne ernten zu können.

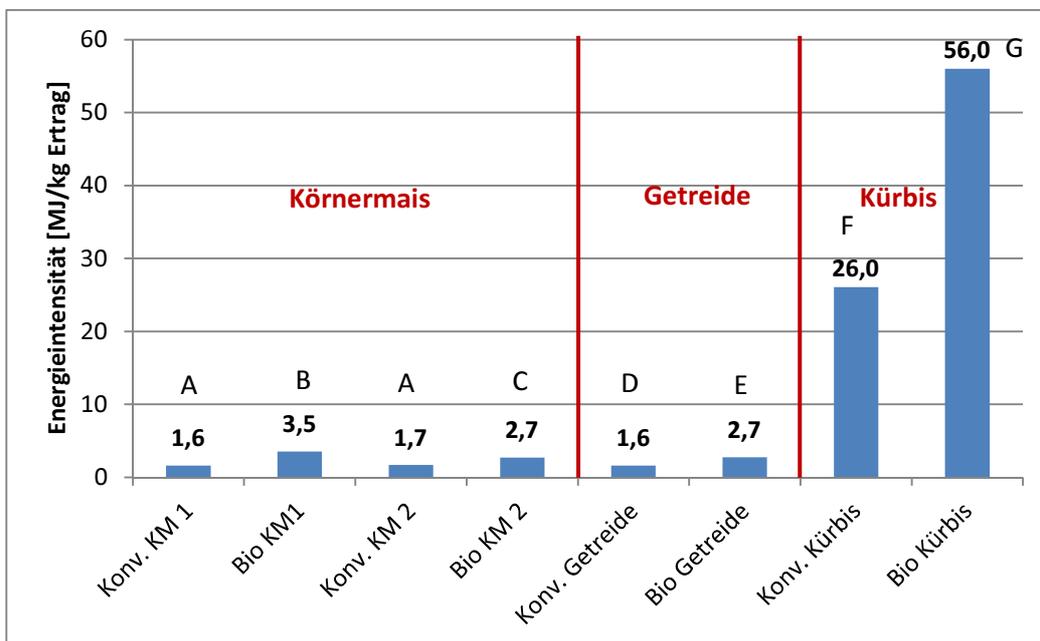


Abbildung 42: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der einzelnen Varianten 2011

In der Netto-Energiebilanz [MJ/ha] in Abbildung 43 wird ein negativer Betrag beim biologisch bewirtschafteten Kürbis angezeigt. Es werden um mehr als 10 GJ mehr Energie eingesetzt, als mit dem Erntegut wieder von den Flächen abgeführt werden kann.

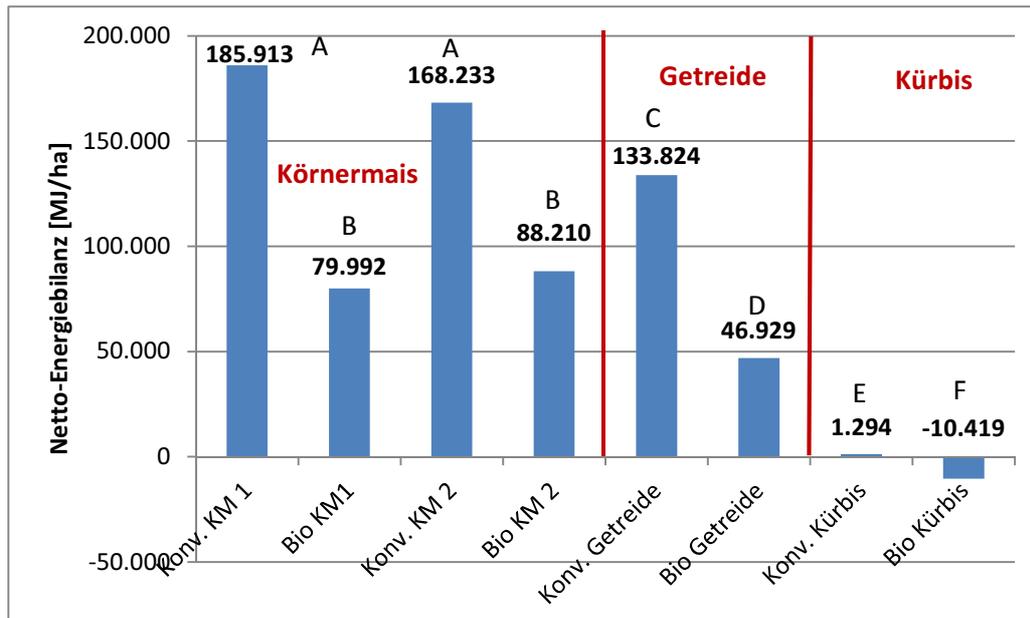
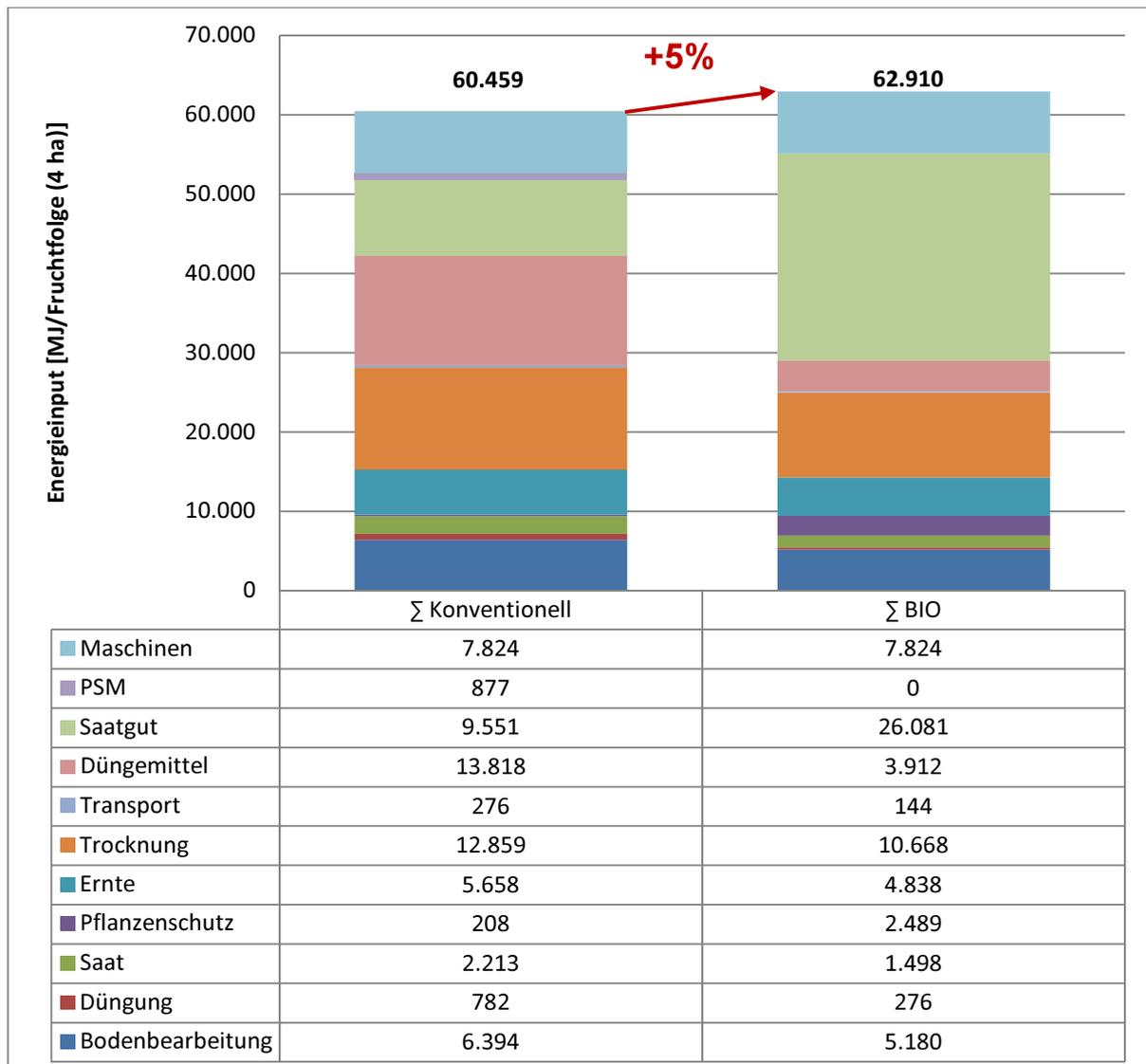


Abbildung 43: Netto-Energiebilanz in MJ pro ha der einzelnen Varianten 2011

## Gesamte Fruchtfolge 2011

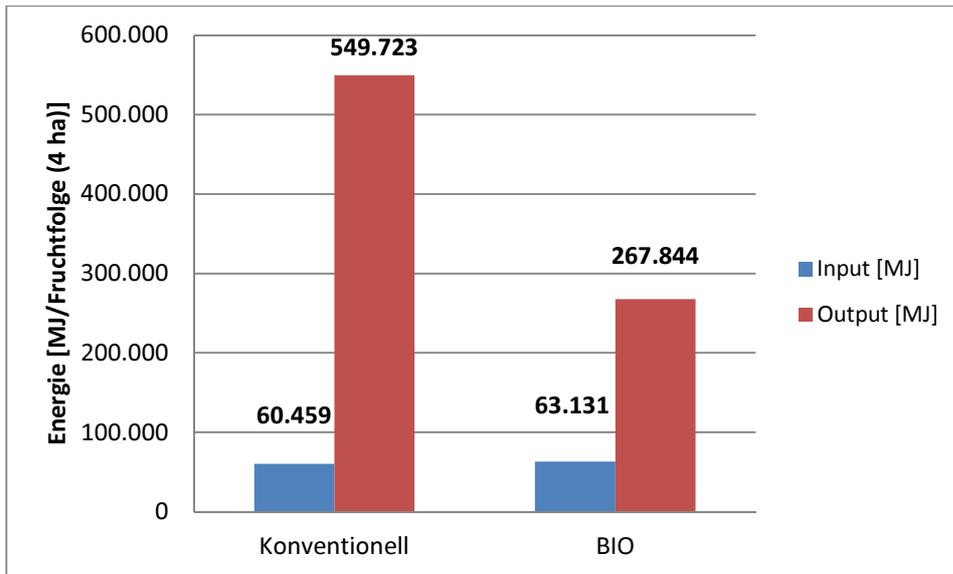
In den Berechnungen für die gesamten Fruchtfolge 2011 werden die unterschiedlichen Werte der Fruchtfolgeglieder aufsummiert. Somit ergibt sich bei 4 Fruchtfolgegliedern zu je einem Hektar ein Energieeinsatz für die gesamte Fruchtfolge in MJ/4 ha.

Wie in Abbildung 44 ersichtlich, ist im Jahr 2011 der Energieinput auf Seiten der biologischen Fruchtfolge höher als bei der konventionellen Fruchtfolge. Verantwortlich dafür scheint vor allem der hohe Aufwand für die Produktion von Saatgut (in der Grafik in grün dargestellt) zu sein. Dieser Wert macht über 41 % des gesamten Energieaufwandes in der biologischen Bewirtschaftung aus.



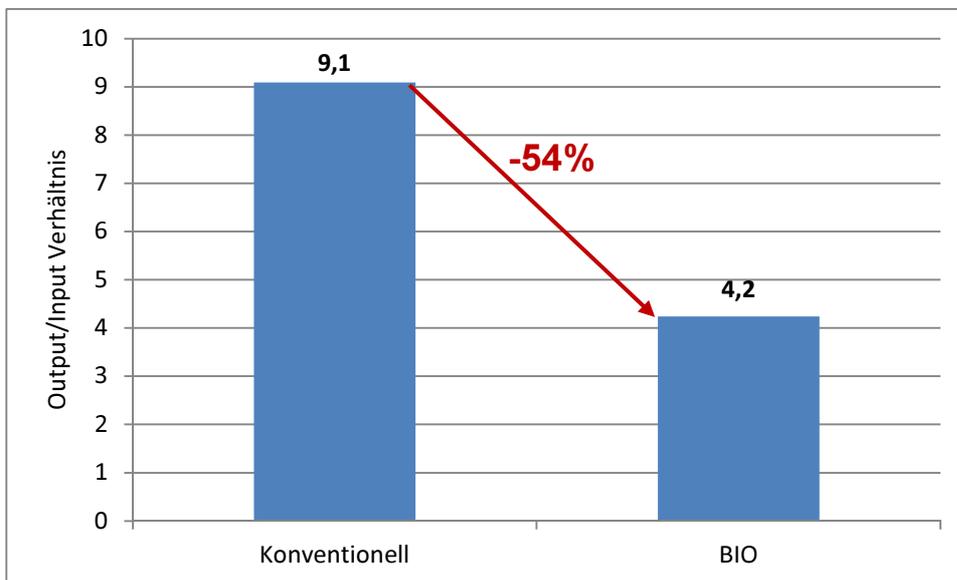
**Abbildung 44: Energieeinsatz in MJ der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge( Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis ) im Jahr 2011**

Abbildung 45 stellt den Energieinput [MJ] und den Energieoutput [MJ] für die gesamte Fruchtfolge dar. Bei einem ähnlichen Energieinput (+ 5 % für BIO) hat die konventionelle Fruchtfolge einen über 50 % höheren Energieoutput, also mehr als den doppelten Ertrag. Dies schlägt sich auch auf die energetischen Kennzahlen nieder, welche im Jahr 2011 ein besonders positives Bild auf die konventionelle Bewirtschaftung werfen.



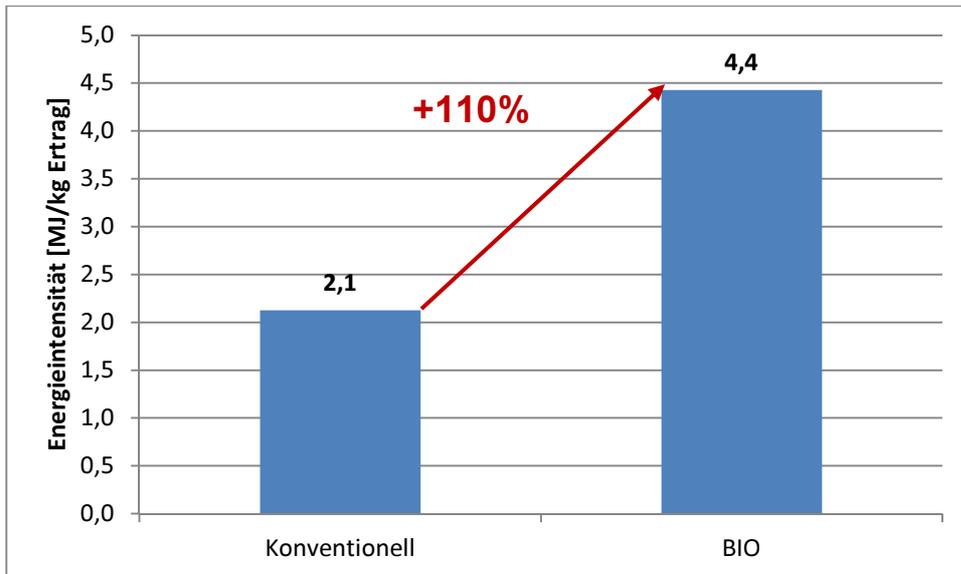
**Abbildung 45: Input [MJ] und Output [MJ] der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) des Jahres 2011**

In Abbildung 46 ist das Output/Input Verhältnis des Jahres 2011 für die konventionelle und die biologische Bewirtschaftung ersichtlich. Die konventionelle Wirtschaftsweise ist mit einem Faktor 9,1 um 54 % besser als die biologische mit dem Faktor 4,2.



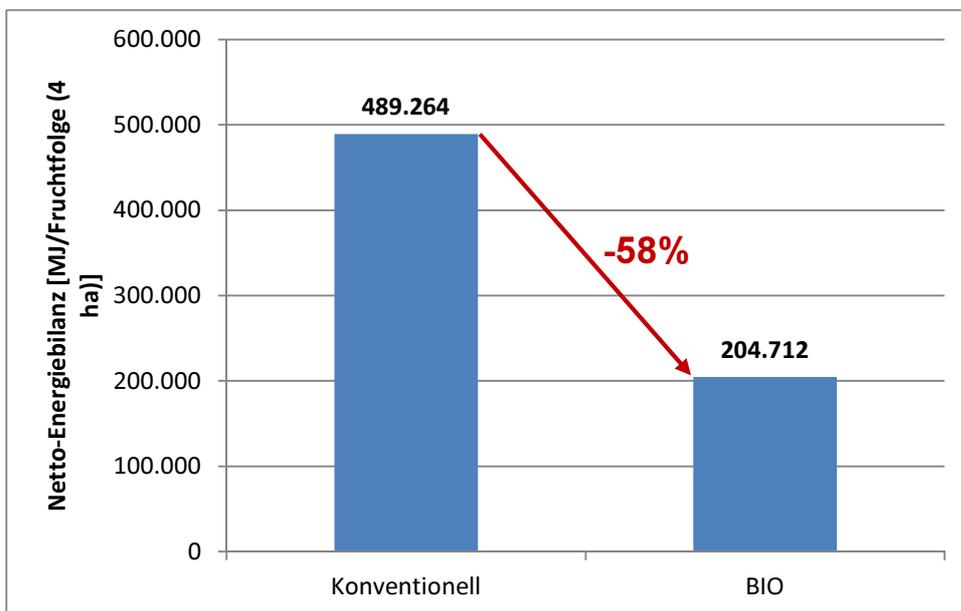
**Abbildung 46: Output/Input Verhältnis über die gesamte konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) des Jahres 2011**

In Abbildung 47 ist die Energieintensität in MJ pro Kilogramm Ernteertrag ersichtlich. Bei biologischer Wirtschaftsweise ist der Energieeinsatz um 110 % höher als in der konventionellen Bewirtschaftung.



**Abbildung 47: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut über die gesamte konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) des Jahres 2011**

Abbildung 48 fasst die Ergebnisse in der Netto-Energiebilanz in MJ für die gesamte Fruchtfolge, also für jeweils 4 Fruchtfolgeglieder mit einem Hektar, zusammen. Die konventionelle Bewirtschaftung ist mit 489 GJ um 58 % ertragreicher als die konventionelle Bewirtschaftung mit einer Energiebilanz von 205 GJ.



**Abbildung 48: Netto-Energiebilanz in MJ pro 4 ha der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2011**

### 5.4.3 Ergebnisse 2012

#### Konventionelle Fruchtfolge:

Wie in den Jahren 2010 und 2011 enthält die Tabelle 32 die berechneten Energieaufwände für die konventionelle Bewirtschaftung. Die Trocknung spielt in diesem Jahr eine geringere Rolle als in den vorhergehenden beiden Wirtschaftsjahren. Insgesamt ist auch der Energieinput über die gesamte Fruchtfolge in diesem Jahr geringer als in den vorangegangenen Jahren.

**Tabelle 32: Werte für den Energieinput der konventionellen Fruchtfolge 2012**

Konventionell	Körnermais 1	Triticale	Körnermais 2	Kürbis	Σ KON
Bodenbearbeitung	1.560	1.636	1.560	2.033	6.789
Düngung	205	58	205	167	635
Saat	161	711	161	711	1.745
Pflanzenschutz	52		52	52	156
Ernte	1.099	1.035	1.099	1.793	5.025
Trocknung	4.877		4.752		9.629
Transport	91	54	95	24	263
Düngemittel	2.577	4.670	2.577	4.265	14.088
Saatgut*	2.900	1.751	2.900	740	8.291
PSM	331		331	338	1.000
Maschinen	1.956	1.956	1.956	1.956	7.824
<b>Σ Input [MJ/ha]</b>	<b>15.809</b>	<b>11.872</b>	<b>15.688</b>	<b>12.079</b>	<b>55.447</b>

\*Saatgut für die Hauptfrucht, sowie die Zwischenfrüchte und Untersaaten

In Tabelle 33 finden sich die energetischen Kennzahlen für das Jahr 2012. Auch diese sind besser zu bewerten als in den Vorjahren.

**Tabelle 33: Übersicht der energetischen Kennzahlen der konventionellen Fruchtfolge 2012**

Konventionell	Körnermais 1	Triticale	Körnermais 2	Kürbis
Input [MJ/ha]	15.809	11.872	15.688	12.079
Output [MJ/ha]	190.310	107.452	198.709	15.443
Output/Input Verhältnis	12,0	9,0	12,7	1,3
Energieintensität [MJ/kg]	1,5	2,0	1,5	22,1
Energiebilanz [MJ/ha]	174.501	95.580	183.021	3.364

#### Biologische Fruchtfolge:

In Tabelle 34 sind die Energieaufwände für die biologische Bewirtschaftung des Jahres 2012 ersichtlich. Diese sind ebenfalls signifikant niedriger als in den Vorjahren. Vor allem der gesamte Energieaufwand für die Getreideproduktion von 6 GJ erscheint besonders niedrig.

**Tabelle 34: Werte für den Energieinput der biologischen Fruchtfolge 2012**

<b>Biologisch</b>	<b>Körnermais 1</b>	<b>Triticale</b>	<b>Körnermais 2</b>	<b>Kürbis</b>	<b>Σ BIO</b>
Bodenbearbeitung	1.639	2.108	1.165	2.033	6.944
Düngung				138	138
Saat	408	464	161	1.175	2.209
Pflanzenschutz	933	134	577	443	2.086
Ernte	1.099	848	1.099	1.793	4.838
Trocknung	3.256		4.710		7.966
Transport	65	23	86	24	197
Düngemittel				3.912	3.912
Saatgut*	7.700	1.111	2.680	6.530	18.021
PSM					0
Maschinen	1.956	1.956	1.956	1.956	7.824
<b>Σ Input [MJ/ha]</b>	<b>17.055</b>	<b>6.644</b>	<b>12.433</b>	<b>18.003</b>	<b>54.135</b>

\*Saatgut für die Hauptfrucht, sowie die Zwischenfrüchte und Untersaaten

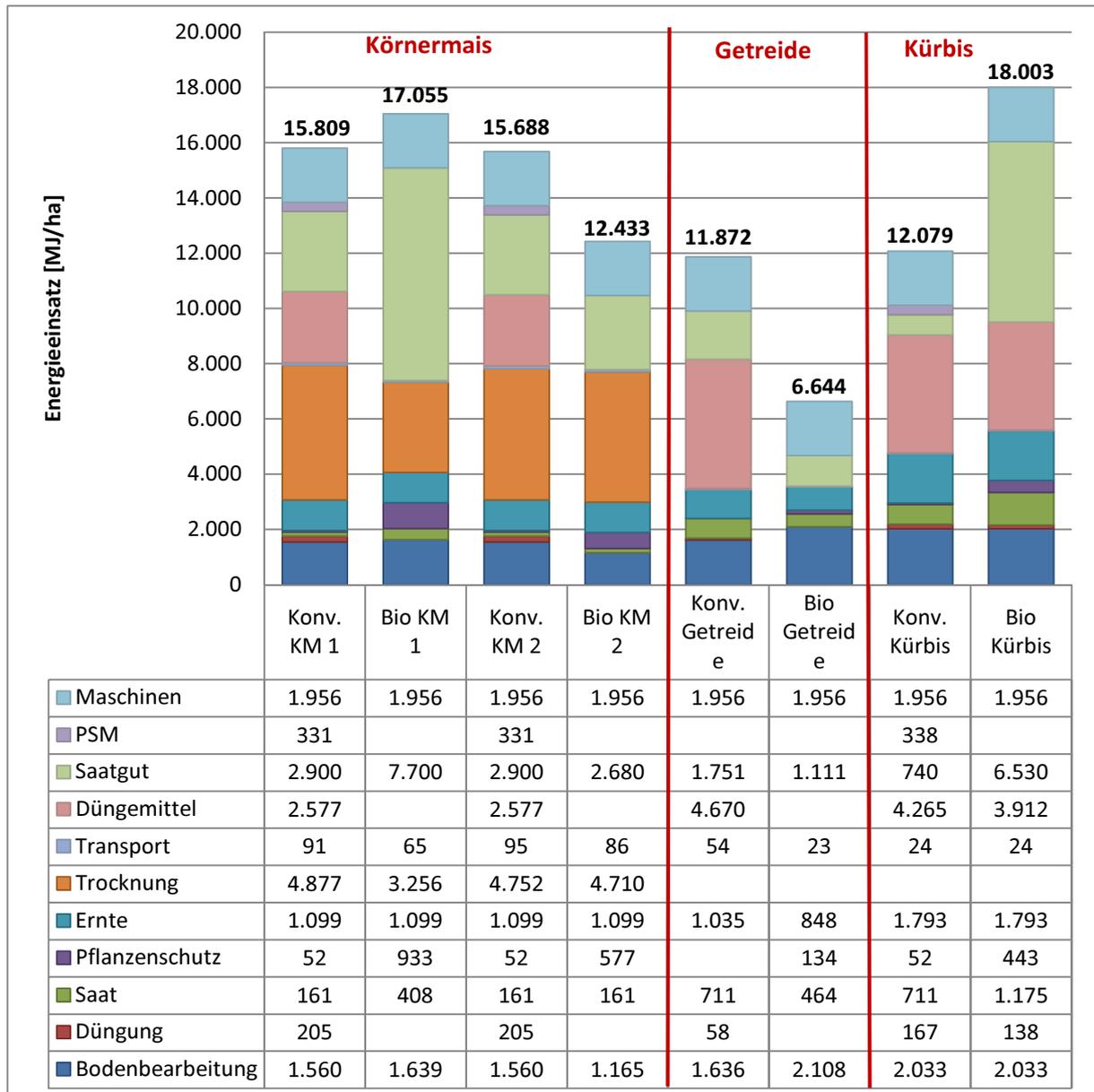
In Tabelle 35 sind die energetischen Kennzahlen für die biologische Fruchtfolge des Jahres 2012 ersichtlich. Aufgrund der extrem niedrigen Erträge bei Kürbis aufgrund eines 50%igen Ausfalles durch Hagelschlag kurz vor der Ernte, lassen die Netto-Energiebilanz für den biologisch bewirtschafteten Kürbis in das Negative rutschen. Der Energieinput übersteigt mit knapp 20 GJ den Energieoutput von rund 7 GJ um das Dreifache.

**Tabelle 35: Übersicht der energetischen Kennzahlen der biologischen Fruchtfolge 2012**

<b>Biologisch</b>	<b>Körnermais 1</b>	<b>Triticale</b>	<b>Körnermais 2</b>	<b>Kürbis</b>
Input [MJ/ha]	17.055	6.644	12.789	19.959
Output [MJ/ha]	138.861	49.522	184.205	6.735
Output/Input Verhältnis	8,1	7,5	14,4	0,3
Energieintensität [MJ/kg]	2,3	2,5	1,3	83,9
Energiebilanz [MJ/ha]	121.806	42.878	171.416	-13.223

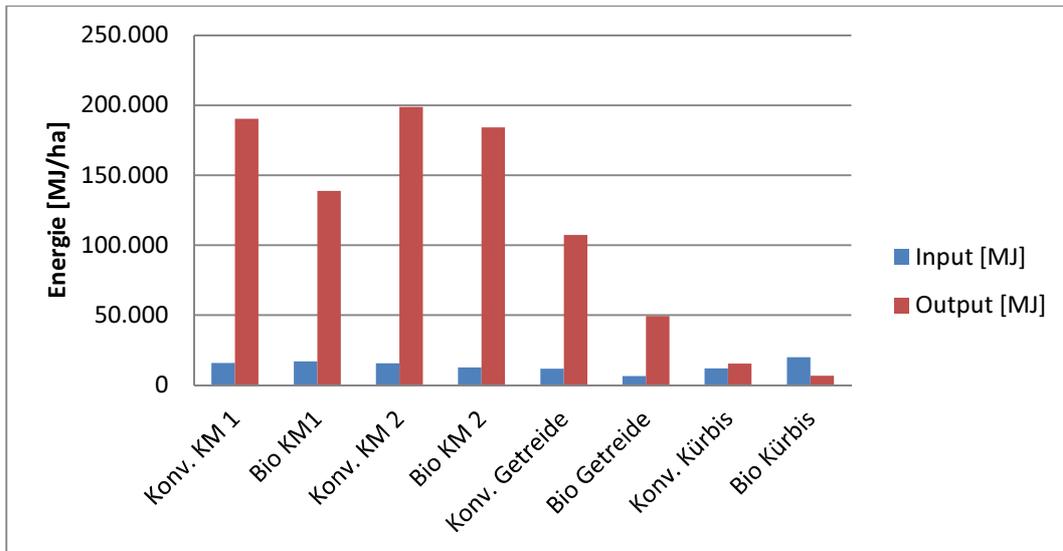
In Abbildung 49 ist der detaillierte Energieaufwand für die unterschiedlichen Bewirtschaftungsmodelle und die unterschiedlichen Fruchtfolgeglieder ersichtlich. Ins Auge stechen hier die hohen Aufwände für Saatgut in der biologischen Bewirtschaftung von Körnermais 1 und von Kürbis. Ebenfalls interessant erscheint der Wert für Düngemittel bei der biologischen Kürbisvariante. Dieser setzt sich aus einer Kalkdüngung und der Ausbringung von Biofert in einer Menge von 1000 kg pro Hektar zusammen.

Der Unterschied bei der konventionellen und biologischen Getreidevariante spiegelt im wesentlichen den Unterschied bei intensiv bewirtschafteten Systemen wider. Hier hat die biologische Wirtschaftsweise nur etwa 56 % des Energieaufwandes der konventionellen Wirtschaftsweise.



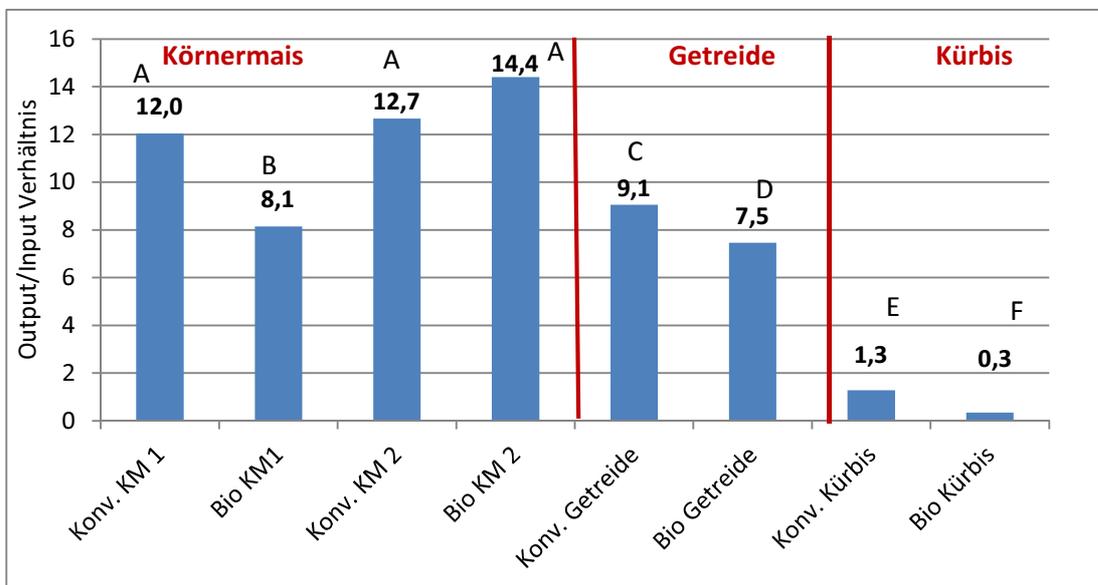
**Abbildung 49: Energieinput [MJ/ha] auf die einzelnen Varianten aufgeschlüsselt 2012**

Abbildung 50 zeigt das Verhältnis von Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha]. Schon hier werden die unterschiedlich hohen Erträge sehr gut sichtbar. In der Variante biologisch bewirtschafteter Kürbis ist klar der höhere Energieinput im Vergleich zum Energieoutput sichtbar.



**Abbildung 50: Energieinput [MJ/ha] und Energieoutput [MJ/ha] der einzelnen Varianten 2012**

Das Output/Input Verhältnis der einzelnen Fruchtfolgeglieder des Bewirtschaftungsjahres 2012 ist in Tabelle 51 ersichtlich. Wie auch in den Vorjahren unterscheiden sich die Verhältnisse von konventionellem und biologischem Getreide sowie auch von konventionellem und biologischem Kürbis signifikant voneinander. Beim Körnermais fällt nur die biologisch bewirtschaftete Variante Körnermais 1 aus der Reihe. Die anderen drei unterscheiden sich nicht signifikant.



**Abbildung 51: Output/Input Verhältnis der einzelnen Varianten 2012**

Bei der Energieintensität in Abbildung 52 stellt die Variante biologisch bewirtschafteter Kürbis mit einem Energieaufwand von 83,9 MJ pro Kilogramm Kürbiskernen einen Spitzenwert dar. In keinem anderen Wirtschaftsjahr werden so hohe Werte verzeichnet. Wie

schon zuvor beschrieben hängt das mit dem extrem niedrigen Ertrag in diesem Jahr zusammen.

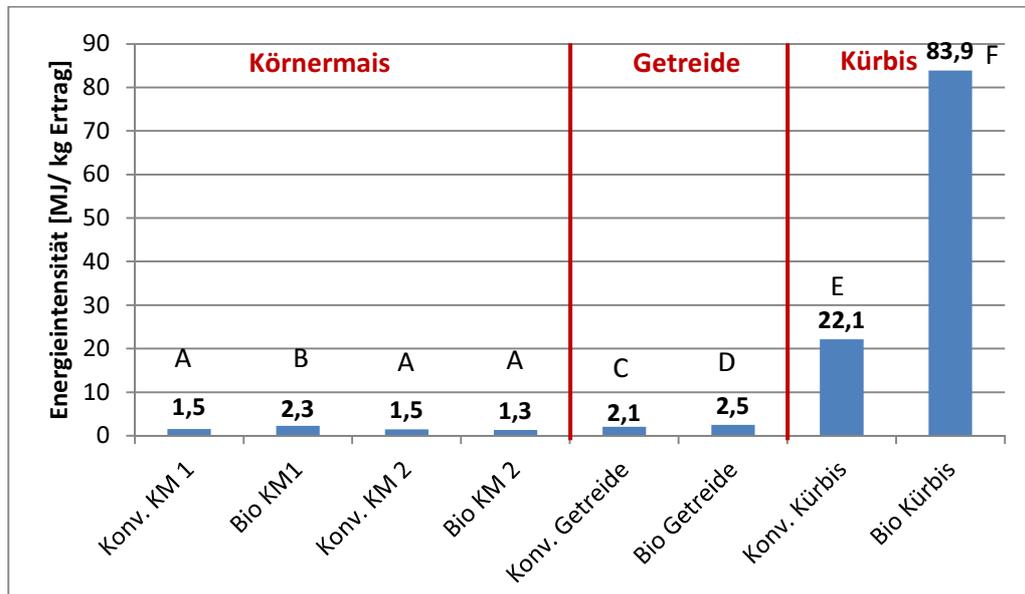


Abbildung 52: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der einzelnen Varianten 2012

Bei der Netto-Energiebilanz [MJ/ha] des Jahres 2012 in Abbildung 53 ist wieder ein negativer Wert für den biologisch bewirtschafteten Kürbis ersichtlich.

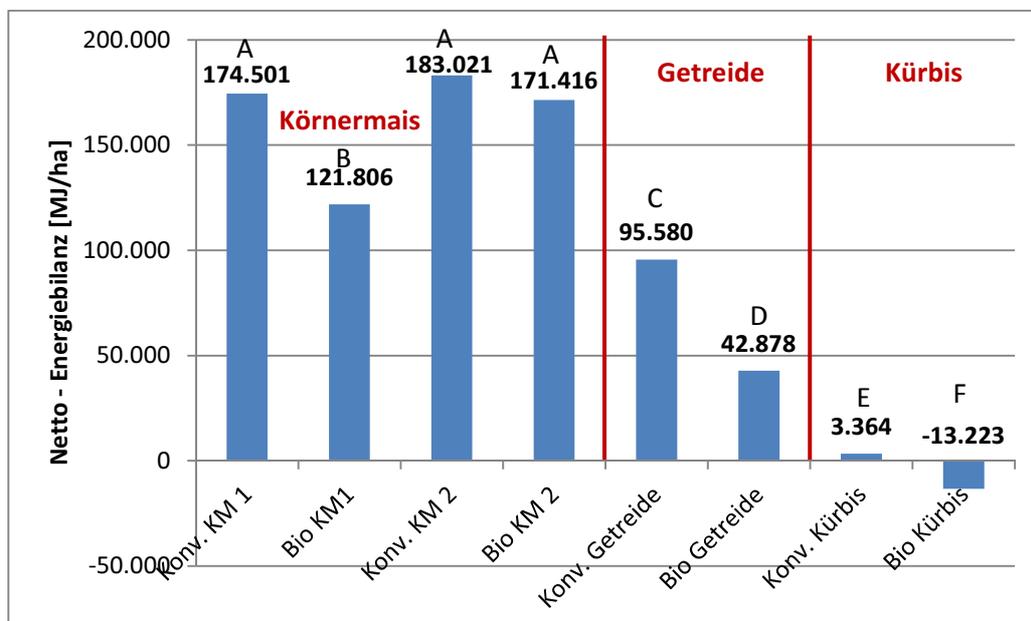
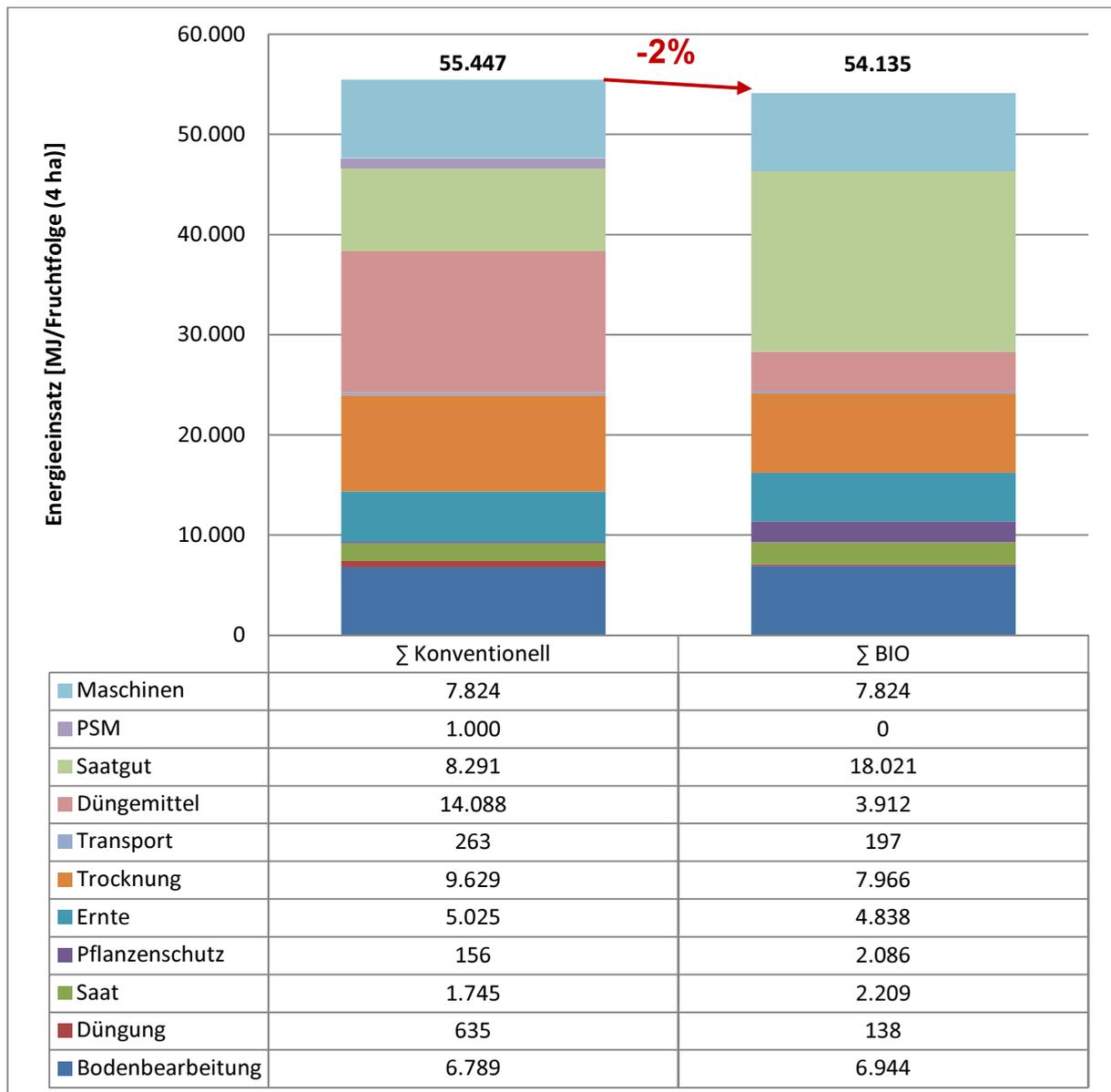


Abbildung 53: Netto-Energiebilanz in MJ pro ha der einzelnen Varianten 2012

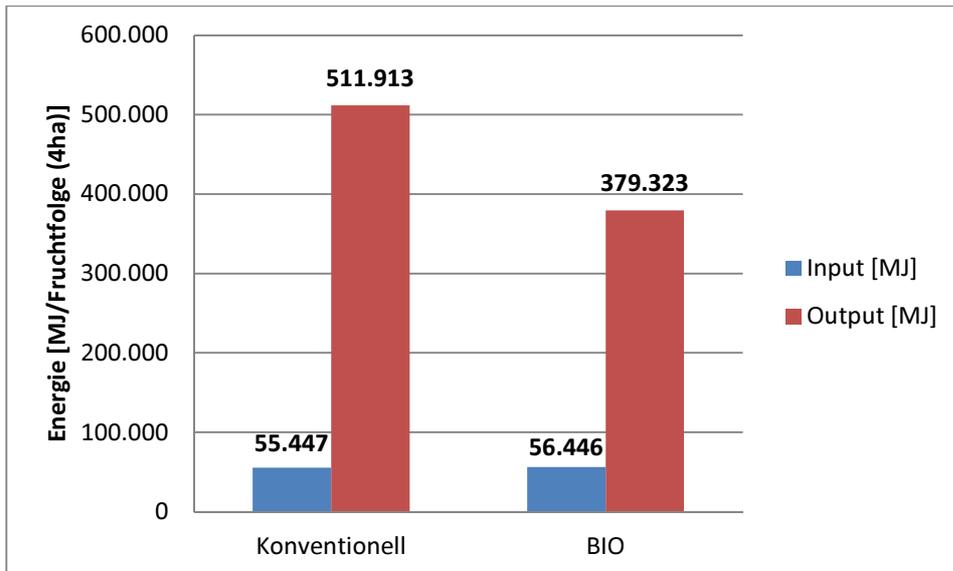
## Gesamte Fruchtfolge 2012

Beim Vergleich der Energieaufwände summiert über die beiden Fruchtfolgen, ergibt sich ein minimaler Unterschied von 2 % zugunsten der biologischen Fruchtfolge. Dominierend auch in der Abbildung 54 auf Seiten der biologischen Fruchtfolge der Aufwand für Saatgut und auf Seiten der konventionellen Fruchtfolge der Aufwand für Düngemittel.



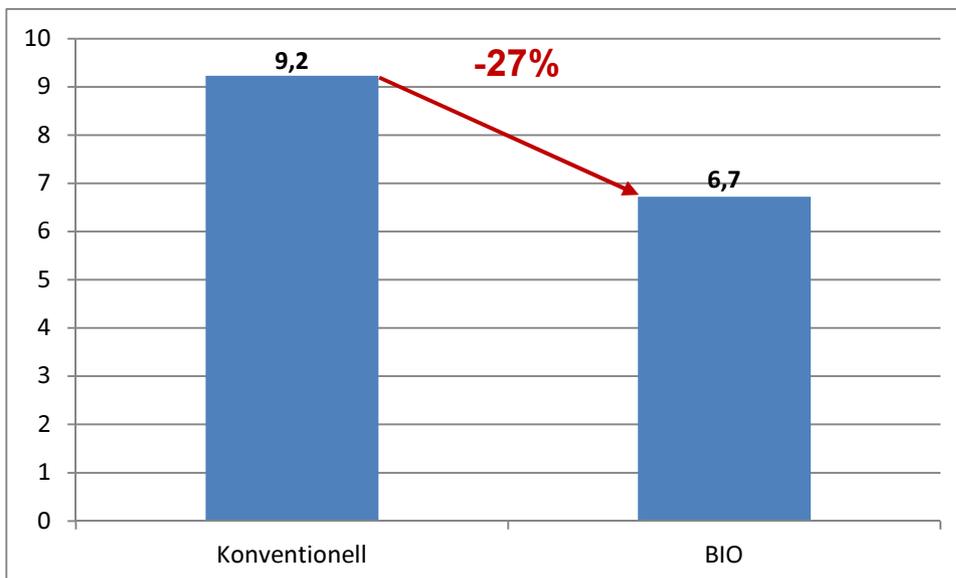
**Abbildung 54: Energieeinsatz in MJ der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2012**

In der Abbildung 55 ist der Energieinput [MJ] und der Energieoutput [MJ] für die gesamte Fruchtfolge ersichtlich. Hier wird deutlich, dass im Vergleich zum Vorjahr der Energieinput niedriger liegt und der Unterschied zwischen der konventionellen und der biologischen Fruchtfolge im Energieoutput nicht so groß ist.



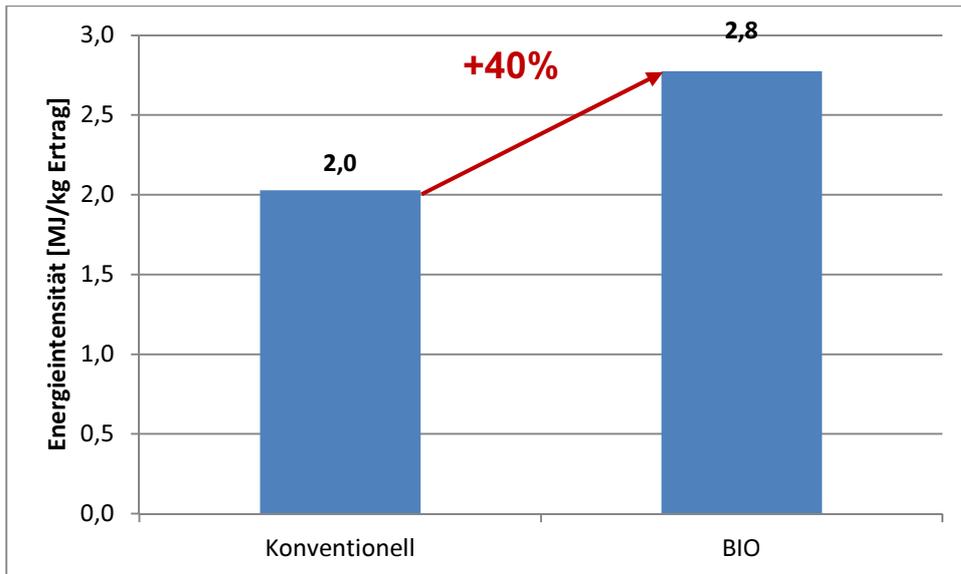
**Abbildung 55: Input [MJ] und Output [MJ] der konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) ) 2012**

Das Output/Input Verhältnis des Jahres 2012, berechnet über die gesamte konventionelle bzw. biologische Wirtschaftsweise, ist in Abbildung 56 ersichtlich. Es weist einen Unterschied von 27 % zugunsten der konventionellen Fruchtfolge aus.



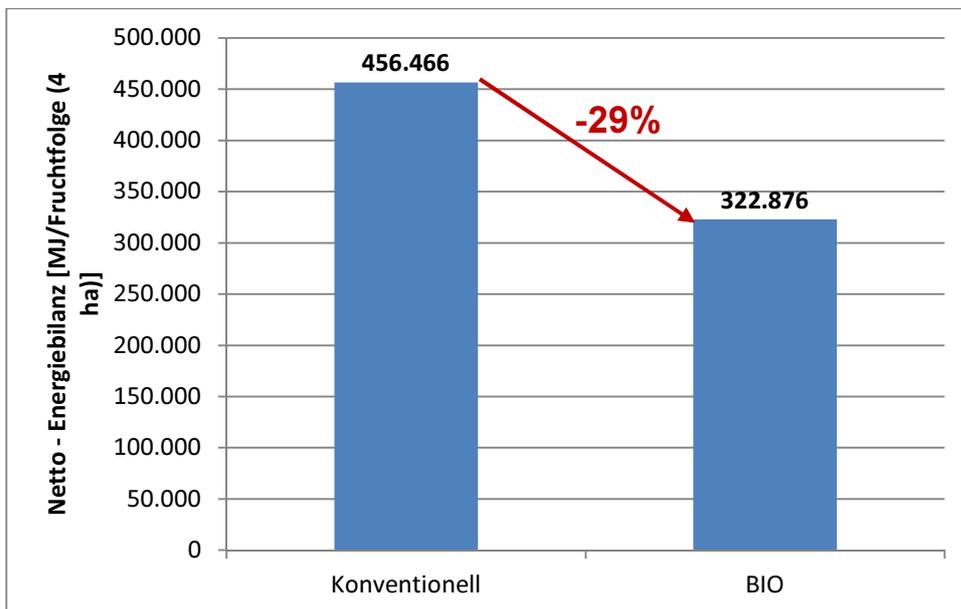
**Abbildung 56: Output/Input Verhältnis der konventionellen und biologischen Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) ) 2012**

Die Energieintensität [MJ/kg Erntegut] ist bei der biologischen Bewirtschaftung in Abbildung 57 um 40 % höher als bei der konventionellen Bewirtschaftung. Mit einem Wert von 2 MJ pro Kilogramm Ertrag in der konventionellen Bewirtschaftung und einem Wert von 2,8 MJ/kg Ertrag in der biologischen Fruchtfolge, liegen die Werte des Jahres 2012 aber im Vergleich zu den Vorjahren sehr niedrig.



**Abbildung 57: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut für die konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2012**

Die Netto-Energiebilanz [MJ] für die gesamte Fruchtfolge (jeweils 4 ha) weist in Abbildung 58 einen höheren Energiegewinn auf Seiten der konventionellen Bewirtschaftung aus. Mit 456 GJ ist der Energiegewinn um 29% höher als bei der biologischen Bewirtschaftung mit 323 GJ.



**Abbildung 58: Netto-Energiebilanz in MJ für die gesamte konventionelle und biologische Fruchtfolge (Körnermais - Triticale - Körnermais - Kürbis) 2012**

## 5.5 Ergebnisse summiert über die Versuchsjahre von 2010 bis 2012

Um eine Gesamtbewertung der konventionellen bzw. der biologischen Wirtschaftsweise über die drei Versuchsjahre zu machen, werden die Werte zuerst gegenübergestellt (Tabelle 36) und in weiterer Folge summiert um die beiden Bewirtschaftungsmodelle gegenüberstellen zu können (Tabelle 37).

**Tabelle 36: Energieinput [MJ] der konventionellen und biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolgen für die Versuchsjahre 2010, 2011 und 2012**

Arbeitsschritt	2010		2011		2012	
	Konventionell	BIO	Konventionell	BIO	Konventionell	BIO
Bodenbearbeitung	6.787	5.921	6.394	5.180	6.789	6.944
Düngung	752	275	782	276	635	138
Saat	2.372	1.498	2.213	1.498	1.745	2.209
Pflanzenschutz	872	2.347	208	2.489	156	2.086
Ernte	5.658	4.838	5.658	4.838	5.025	4.838
Trocknung	14.793	17.695	12.859	10.668	9.629	7.966
Transport	263	176	276	144	263	197
Düngemittel	18.745	3.110	13.818	3.912	14.088	3.912
<b>Saatgut*</b>	12.218	16.541	9.551	28.781	8.291	18.021
PSM	1.312	0	877	0	1.000	0
Maschinen	7.824	7.824	7.824	7.824	7.824	7.824
<b>Energieeinsatz [MJ/ha]</b>	<b>71.595</b>	<b>60.227</b>	<b>60.459</b>	<b>65.610</b>	<b>55.447</b>	<b>54.135</b>

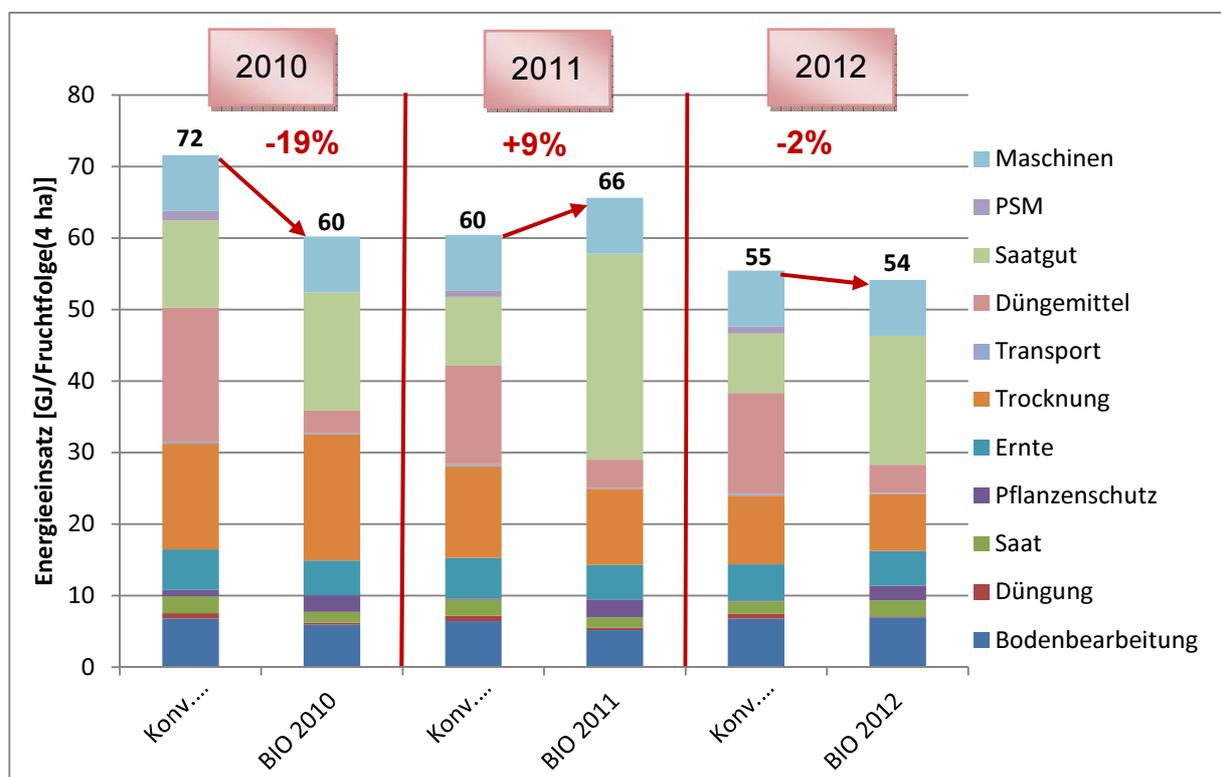
\*Saatgut für die Hauptfrucht, sowie die Zwischenfrüchte und Untersaaten

In Tabelle 36 sind die verschiedenen Jahre noch recht unterschiedlich im Energieaufwand, summiert in Tabelle 37 erscheinen die Unterschiede aber nicht sehr hoch. Die konventionelle Wirtschaftsweise unterscheidet sich im Energieaufwand mit 188 GJ nur um 4 % von der biologischen Bewirtschaftungsweise mit einem Energieaufwand von 180 GJ.

**Tabelle 37: Gesamtenergieeinsatz [MJ] der konventionellen und biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge über die gesamten Versuchsjahre von 2010 bis 2012 (je 12 ha)**

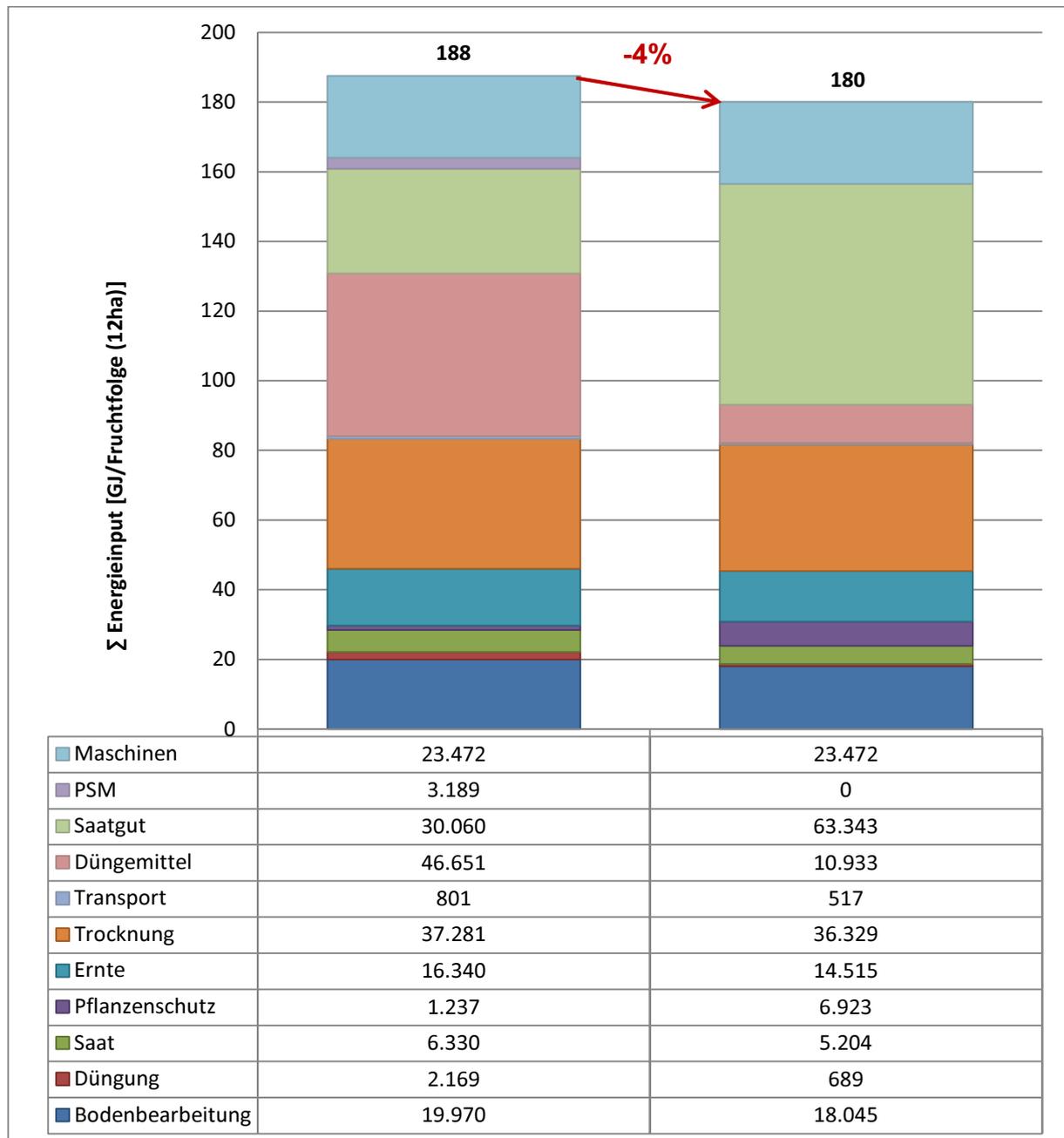
Arbeitsschritt	Σ Konventionell	Σ BIO
Bodenbearbeitung	19.970	18.045
Düngung	2.169	689
Saat	6.330	5.204
Pflanzenschutz	1.237	6.923
Ernte	16.340	14.515
Trocknung	37.281	36.329
Transport	801	517
Düngemittel	46.651	10.933
Saatgut	30.060	63.343
PSM	3.189	0
Maschinen	23.472	23.472
<b>Energieeinsatz [MJ/12 ha]</b>	<b>187.501</b>	<b>179.972</b>

In Abbildung 59 werden die Werte aus der Tabelle 35 grafisch gegenübergestellt. Hier wird der enorme Effekt der unterschiedlichen Bewirtschaftungsjahre auf den Energieeinsatz ersichtlich. So benötigt die konventionelle Bewirtschaftung im Jahr 2010 um 16 % mehr Energieinput als die biologische. Im Jahr 2011 hingegen benötigt die biologische Bewirtschaftung einen um 9 % höheren Energieinput. Wohingegen im Jahr 2012 der Unterschied mit 2 % zugunsten der biologischen Fruchtfolge, sehr gering ausfällt.



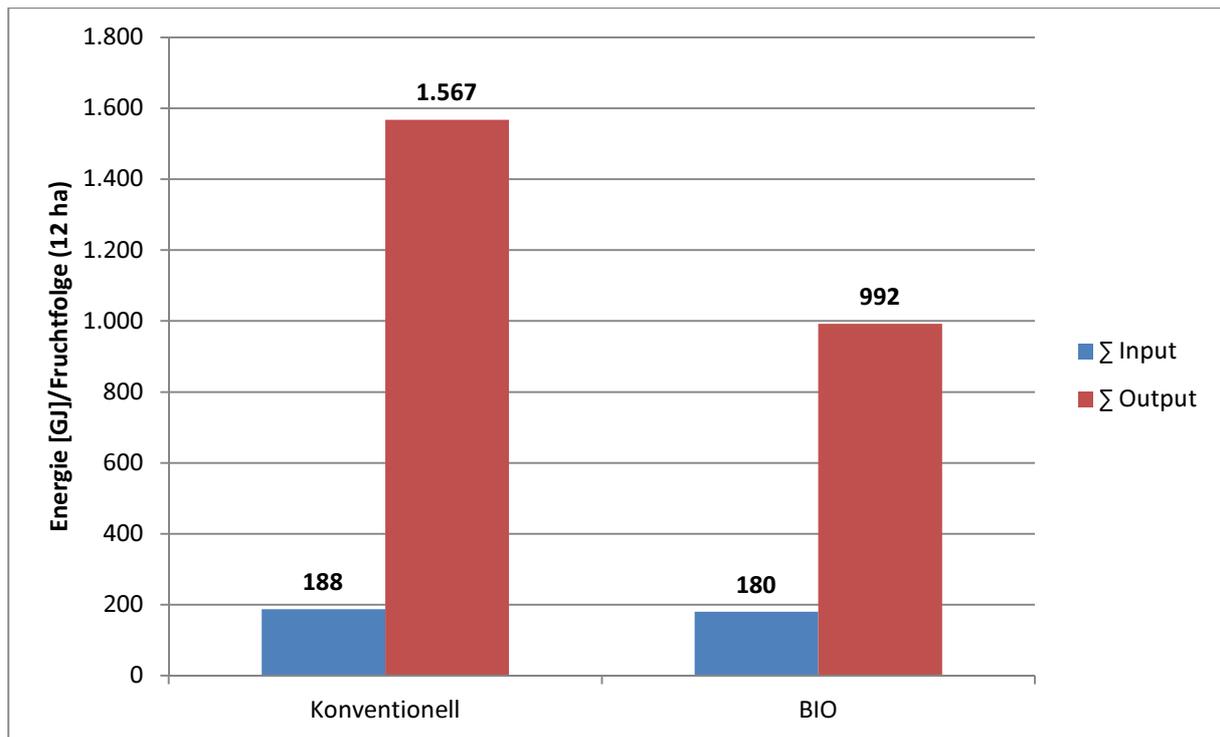
**Abbildung 59: Energieinput [GJ] für die konventionelle und biologische 4-gliedrige Fruchtfolge (4ha) im Jahresvergleich**

Summiert man die Werte über die drei Jahre von 2010 bis 2012 auf (Abbildung 60), so ergibt sich ein gesamter Energieinput für die konventionelle Wirtschaftsweise von 188 GJ, welcher um 4 % höher liegt als der Wert von 180 GJ für die biologische Wirtschaftsweise.



**Abbildung 60: Energieinput [GJ/12 ha] für die konventionelle und die biologische 4-gliedrige Fruchtfolge - summiert über die Versuchsjahre 2010 bis 2012**

Beim Energieoutput [GJ] für den Gesamtzeitraum von 2010 bis 2012 kommt man auf ein Ergebnis von 1567 GJ auf Seiten der konventionellen Fruchtfolge und von 992 GJ auf Seiten der biologischen Fruchtfolge. Abbildung 61 stellt diese Unterschiede dar.



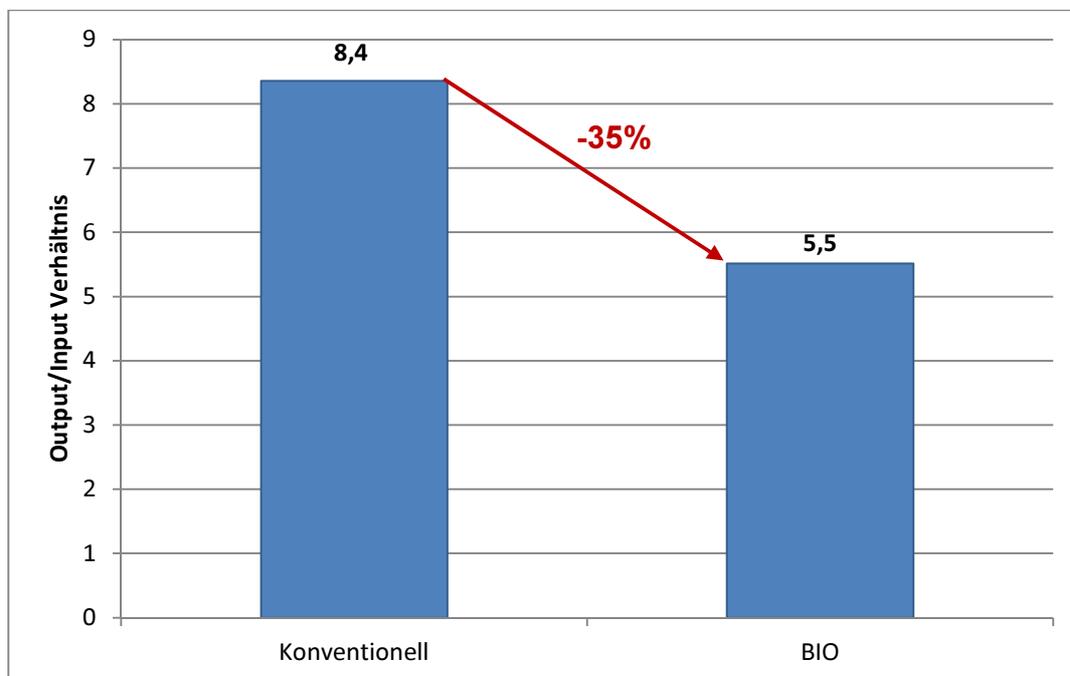
**Abbildung 61: Energieinput [GJ] und Energieoutput [GJ] für die konventionelle und die biologische 4-gliedrige Fruchtfolge - summiert über die Versuchsjahre 2010 bis 2012**

In Abbildung 62 wird das Output/Input Verhältnis im Jahresverlauf dargestellt. 2010 weist dabei mit 7,1 bzw. 5,7 die geringsten Werte auf und hat mit einem Unterschied von 20 % zugunsten der konventionellen Bewirtschaftung auch die kleinste Differenz. Im Jahr 2011 beträgt die Differenz zwischen der konventionellen (9,1) und der biologischen (4,1) Bewirtschaftung ganze 55 %. Die höchsten Verhältnisse erzielt das Jahr 2012 mit 9,2 für die konventionelle Bewirtschaftung und 7 für die biologische Bewirtschaftung. Hier beträgt die Differenz 27 % ebenfalls zugunsten der konventionellen Bewirtschaftung.



**Abbildung 62: Output/Input Verhältnis der einzelnen Fruchtfolgen im Jahresvergleich**

Berechnet man das Output/Input Verhältnis, wie in Abbildung 63, für die gesamte konventionelle bzw. biologische Bewirtschaftung, so ergibt sich ein Faktor von 8,4 für die konventionelle und 5,5 für die biologische Wirtschaftsweise. Ein Unterschied von etwa 35 %.



**Abbildung 63: Output/Input Verhältnis der konventionellen und biologischen Fruchtfolge berechnet über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

In Abbildung 64 und 65 wird die Energieintensität [MJ/kg Erntegut] gegenübergestellt. Im Jahr 2010 sind die Energieaufwände pro kg Erntegut mit 3,3 annähernd gleich. Der größte Unterschied besteht im Jahr 2011 mit einer Differenz von 119 %. 2012 weist mit 40 % eine durchschnittliche Differenz aus, allerdings sind die Werte mit 2 bzw. 2,7 an sich sehr niedrig. Werden die Werte über die Jahre summiert, ergibt sich wie in Abbildung 65 eine höhere Energieintensität von 1 MJ pro kg Erntegut in der biologischen Bewirtschaftung, was einem höheren Wert von 42 % entspricht.



Abbildung 64: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut für die einzelnen Fruchtfolgen im Jahresvergleich

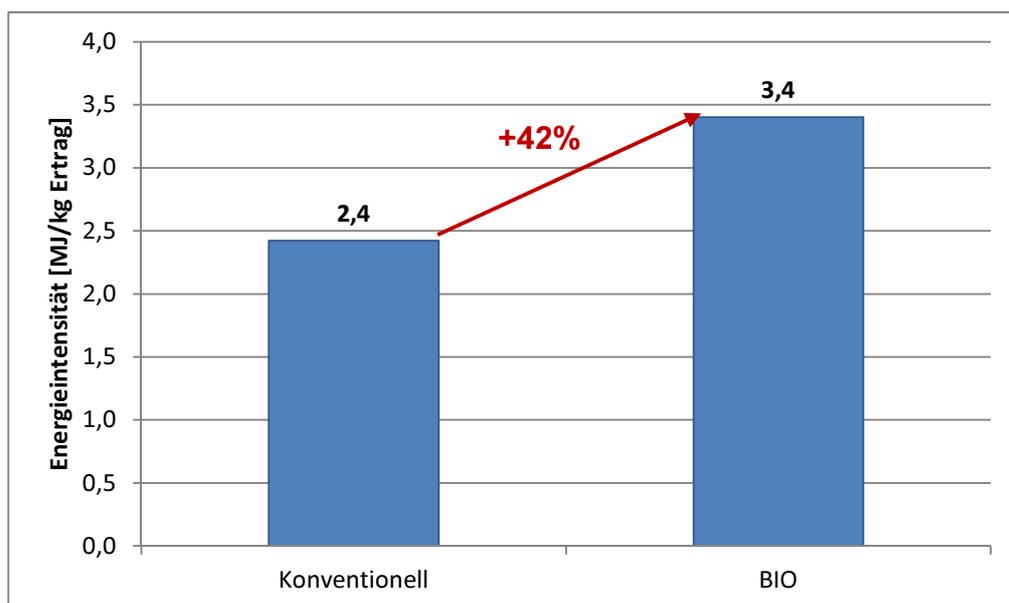
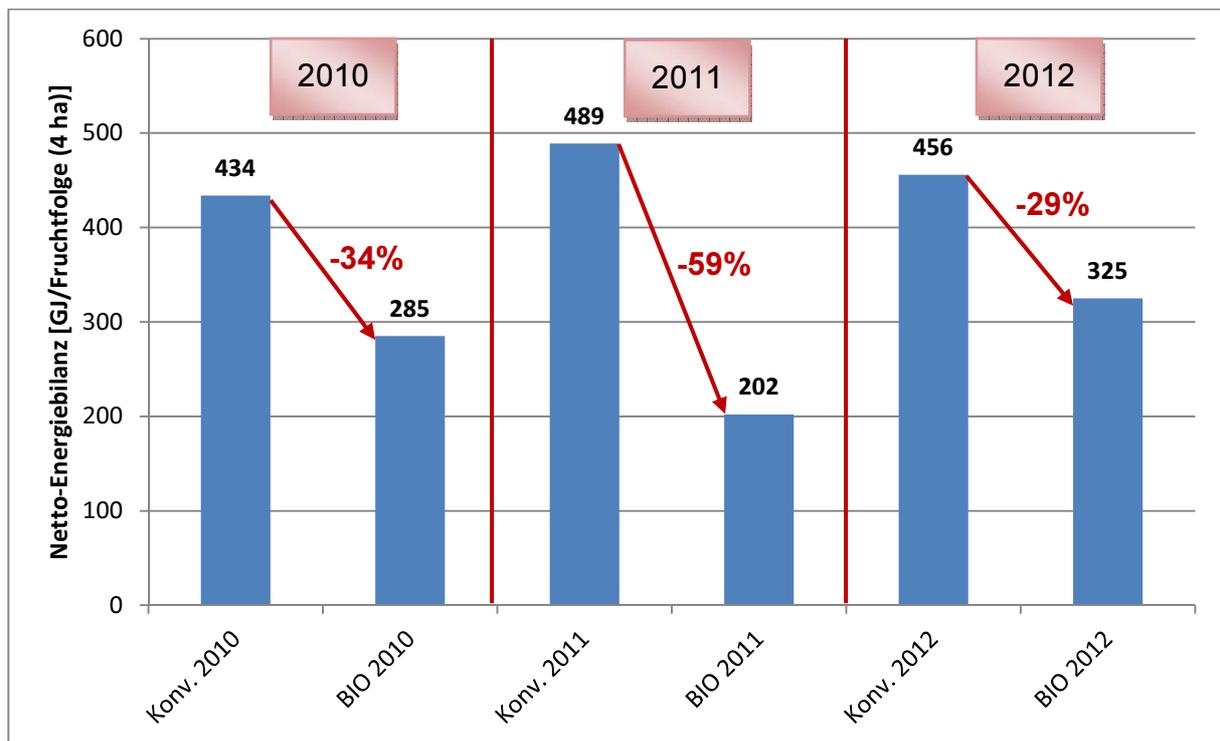


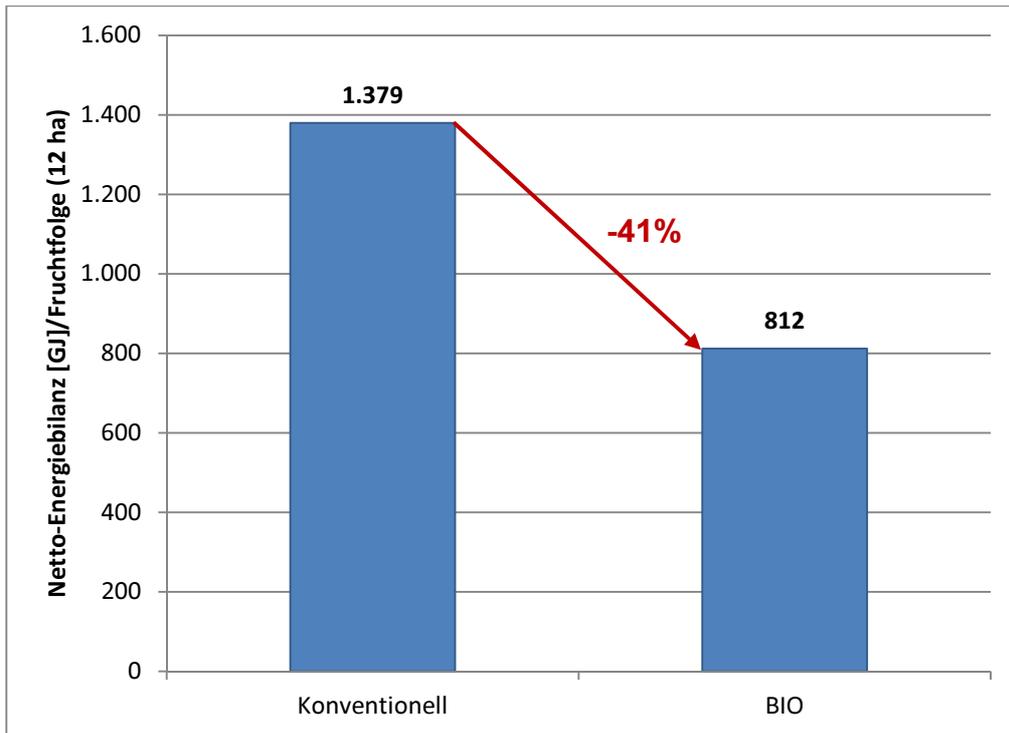
Abbildung 65: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen und biologischen Fruchtfolge über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012

Wird abschließend die Netto-Energiebilanz [GJ] für die gesamte Fruchtfolge im Jahresvergleich betrachtet, so wird ersichtlich, dass die konventionelle Bewirtschaftung immer höhere Erträge erwirtschaftet. Im Jahr 2010 ist der Energiegewinn der konventionellen Wirtschaftsweise um 34 % höher als bei biologischer Bewirtschaftung, 2011 um 59 % höher und 2012 um 29 % höher.



**Abbildung 66: Netto-Energiebilanz in GJ der einzelnen Fruchtfolgen (je 4 ha) im Jahresvergleich**

Für die gesamte Netto-Energiebilanz über die drei Bewirtschaftungsjahre in Abbildung 67, ergibt sich somit ein höherer Energiegewinn bei konventioneller Bewirtschaftung von 41 %. In Summe konnten hier 1379 GJ an Energie generiert werden, wohingegen bei biologischer Wirtschaftsweise nur 812 GJ erwirtschaftet werden können.



**Abbildung 67: Netto-Energiebilanz in GJ der gesamten konventionellen und biologischen Fruchtfolgen (je 12 ha) über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

## 5.6 Adaptierungen des Modells

Nachdem der Standort Wagna einige Besonderheiten aufweist, sollten diese auch bei den Berechnungen berücksichtigt werden.

So liegt der Versuchsstandort Wagna im zentralen Leibnitzer Feld und im Trinkwasserschongebiet. Aufgrund dieser Tatsache sind besondere Regeln bei der Düngung einzuhalten. So liegt die Höchstmenge an Stickstoff der pro Hektar und Jahr ausgebracht werden darf bei 175 kg. Aufgrund der Geschichte und den Grundvoraussetzungen des Versuchsstandortes Wagna ist aber darauf hinzuweisen, dass der Standort in erster Linie der Überprüfung dient, ob landwirtschaftliche Bewirtschaftung, unter Berücksichtigung der sachgerechten Düngung (BMLFUW 2006) in Verbindung mit einer einhergehenden Trinkwasserschonung überhaupt möglich ist (ROBIER 2013). Um diese Überprüfung durchführen zu können werden ständig Proben mit den verschiedenen Lysimetern gezogen und analysiert. Die Düngung ist, auch aufgrund der seichtgründigen, schottrigen Böden, die kaum Pufferwirkung für Nährstoffe bieten, auf ein Minimum reduziert. Somit ergibt sich ein wesentlicher Unterschied zu den Vergleichswerten aus der Literatur. So ist der Energieeinsatz mit rund 20 GJ pro Hektar und Jahr wesentlich geringer als die Werte von HÜLSBERGEN (2003) der bei energieintensiven Systemen in Westeuropa von über 30 GJ pro Hektar und Jahr in der pflanzlichen Primärproduktion ausgeht. Als kritische ökologische Belastungsgrenze gibt HÜLSBERGEN (2003) einen Energieinput von  $< 15$  GJ pro Hektar und Jahr im Pflanzenbau und einen Netto-Energieoutput von  $> 50$  GJ pro Hektar und Jahr an. Dabei wird nicht nach Standorten oder Fruchtarten differenziert. Anders als bei herkömmlichen Bewirtschaftungsmodellen ergibt sich am Standort Wagna somit ein sehr geringer Unterschied im Energieaufwand zwischen der konventionellen und der ökologischen Fruchtfolge, bei einem doch signifikanten Unterschied in den Erträgen.

HÜLSBERGEN (2003) geht davon aus, dass es nicht ausreichend ist Energieäquivalente zu harmonisieren, um eine Vergleichbarkeit von Energiebilanzen zu gewährleisten. Energieäquivalente sollten den tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden um Fehlaussagen zu vermeiden.

Bei der Analyse des vorliegenden Modells treten drei Faktoren in Erscheinung, die eine Adaption des Modells als sinnvoll erscheinen lassen.

**Diese drei Faktoren sind:**

- **Energieaufwand bei der Produktion mineralischer N-Düngemittel**

Die extreme Spanne der Literaturwerte für die Produktion von mineralischem Stickstoffdünger von 35,3 MJ bis hin zu 80 MJ pro kg Reinnährstoff läßt eine Sensitivitätsanalyse in diesem Fall als sinnvoll erscheinen.

- **Einsatz von Gülledüngung in der konventionellen Bewirtschaftung**

Die Tatsache, dass in der konventionellen Bewirtschaftung Gülledüngung zur Deckung des Nährstoffbedarfes der Pflanzen eingesetzt wird und in der biologischen Bewirtschaftung nicht, wirkt bei einer Bewertung der eingesetzten Gülle als Kuppelprodukt (es wird nur der Aufwand bei der Ausbringung bewertet, nicht aber der Nährstoffgehalt der Gülle) wettbewerbsverzerrend. Hier muss auch die Gülle energetisch bewertet werden.

- **Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut**

Der im Modell sehr hoch angesetzte Wert von 50 MJ bei der Herstellung von einem Kilogramm Saatgut (für Saatmischungen bei Zwischenfrüchten, Untersaaten und Übersaaten), wirkt sich für die ökologische Fruchtfolge als wesentlicher Faktor im Energieinput aus. Es kommt zu hohem Einsatz dieses Saatgutes, weil versucht wird Flächen das ganze Jahr begrünt zu halten und somit oftmaliger Anbau notwendig ist. Auch in diesem Fall sollte mittels Sensitivitätsanalyse auf die Auswirkung auf das Ergebnis bei Verwendung eines niedrigeren Energieäquivalentes eingegangen werden.

Alle Adaptionen beziehen sich auf das Gesamtergebnis, also die Werte für die gesamte Fruchtfolge im Versuchszeitraum von 2010 bis 2012.

### **5.6.1 Sensitivitätsanalyse – Energieaufwand bei der Produktion von N-Dünger**

Die Werte für den Energieaufwand bei der Produktion von N-Dünger schwanken vom im Modell zur Anwendung gebrachten Wert von 35,3 MJ pro kg Reinstickstoff (HÜLSBERGEN 2003) bis zu einem Wert von 80 MJ pro kg Reinstickstoff wie er von DARGE (2002) verwendet wird.

Um diese Schwankung zu berücksichtigen wird eine Sensitivitätsanalyse für den Energieaufwand bei der Produktion von mineralischem Stickstoffdünger durchgeführt.

#### **Eingesetzt werden dabei die Werte**

**35,3 MJ/kg** Reinstickstoff (Basismodell)

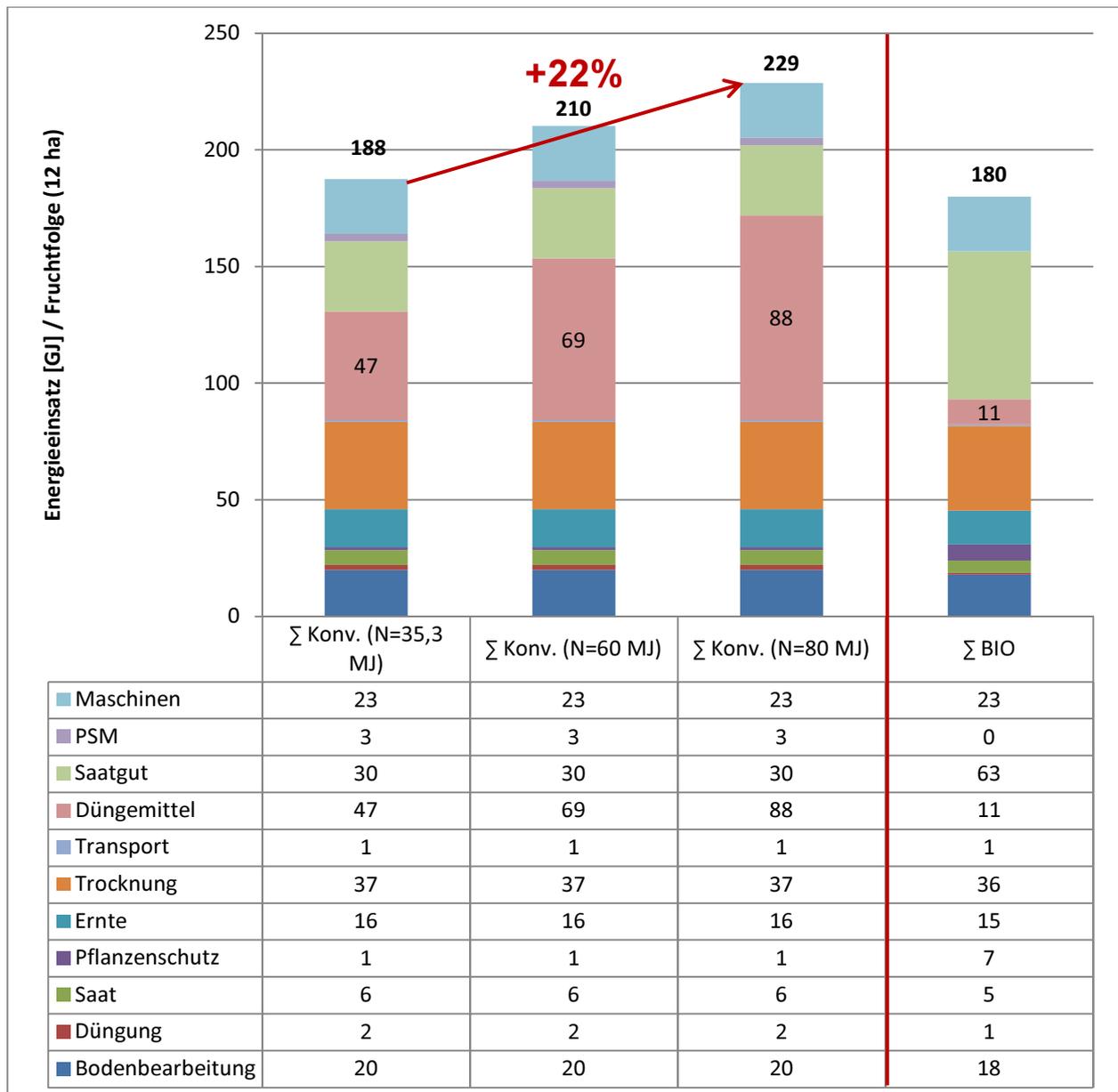
**60 MJ/kg** Reinstickstoff

**80 MJ/kg** Reinstickstoff

Dabei ergibt sich eine Steigerung im Energieinput (Abbildung 68) sowie unterschiedliche Werte bei den energetischen Kennzahlen (Abbildung 69 – 71).

In Abbildung 68 ersichtlich, bezieht sich der erste Balken auf das im Modell verwendete Energieäquivalent von 35,3 MJ/kg Reinstickstoff. Balken zwei bezieht sich auf 60 MJ/kg Reinstickstoff und Balken drei auf 80 MJ/kg Reinstickstoff. Der letzte Balken dient als Vergleichswert und stellt die ökologische Fruchtfolge dar. Die Werte bleiben wie im Grundmodell unverändert bei einem Gesamtwert von 180 GJ für den Anbau je eines Hektars der viergliedrigen Fruchtfolge über die drei Jahre, somit also 180 GJ pro 12 Hektar.

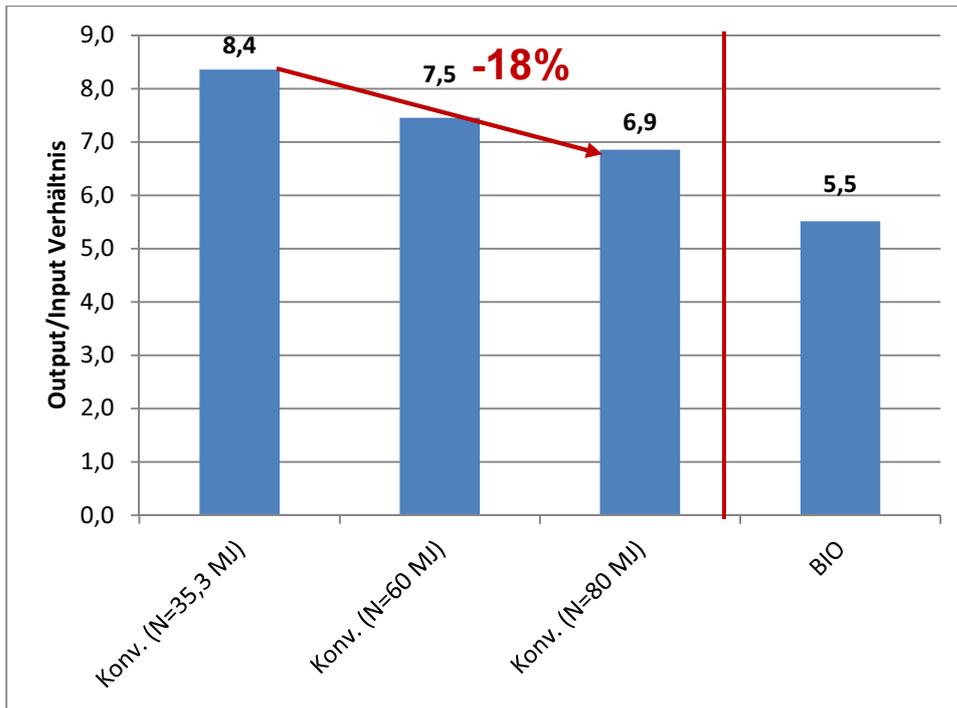
Bei der Steigerung von 35,3 MJ/kg auf 80 MJ/kg steigt der Energieaufwand für Düngemittel von 47 GJ auf 88 GJ um 87 %. Auf das Gesamtergebnis bezogen ist das ein Anstieg von 188 GJ auf 229 GJ, oder ein Anstieg um 22 %.



**Abbildung 68: Energieinput [GJ] der konventionellen 4-gliedigen Fruchtfolge 2010 bis 2012 (12 ha), mit steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg N, 60 MJ/kg N, 80 MJ/kg N), im Vergleich zur biologischen 4-gliedigen Fruchtfolge**

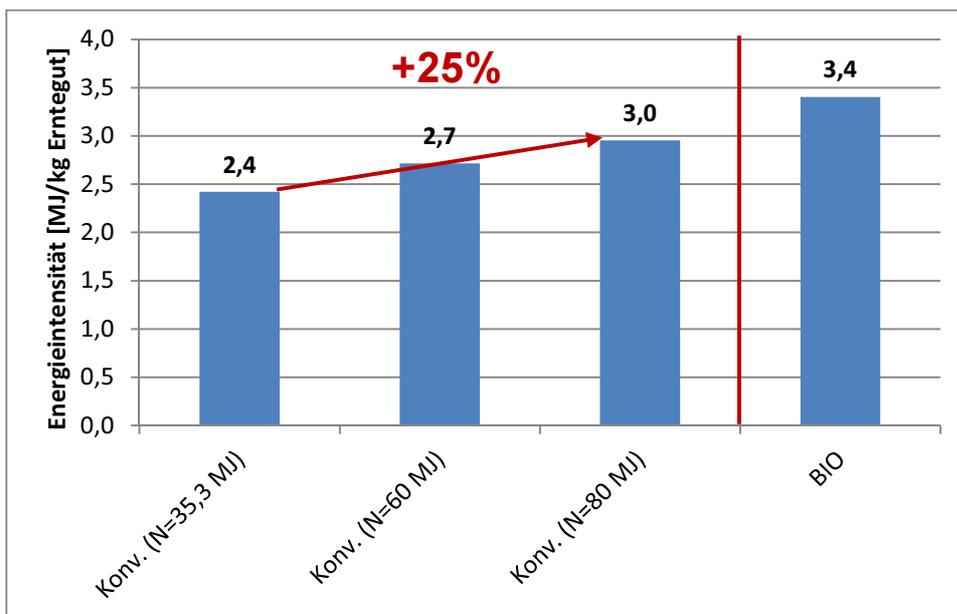
Für die energetischen Kennzahlen ergeben sich folgende Änderungen.

Das Output/Input Verhältnis (Abbildung 69) verschiebt sich von einem Wert von 8,4 in der Modellvariante auf einen Wert von 6,9 bei einem eingesetzten Energieäquivalent von 80 MJ/kg Reinstickstoff. Das entspricht einer Veränderung von - 18 %, was den Vorteil gegenüber der biologischen Fruchtfolge auf nur mehr 20 % schmälert.



**Abbildung 69: Auswirkungen auf das Output/Input Verhältnis der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge bei steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg N, 60 MJ/kg N, 80 MJ/kg N), im Vergleich zur biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge**

Bei der Energieintensität [MJ/kg Ertrag] (Abbildung 70) ergibt sich eine Steigerung des notwendigen Energieaufwandes für einen Kilogramm Ertrag von 2,4 MJ auf 3 MJ. Das ist ein Anstieg von 25 %. Der Vorteil gegenüber der biologischen Fruchtfolge im Standardmodell schmälert sich auf 13 %.



**Abbildung 70: Auswirkungen auf die Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge bei steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg, 60 MJ/kg, 80 MJ/kg), im Vergleich zur biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge**

Einzig für die Netto-Energiebilanz [GJ] (Abbildung 71) ergibt sich kein wesentlicher Unterschied. Aufgrund des erhöhten Energieaufwandes sinkt die Netto-Energiebilanz der gesamten Fruchtfolge über den Beobachtungszeitraum von 1.379 GJ auf 1.338 GJ. Das ist ein Minus von rund 3 %.

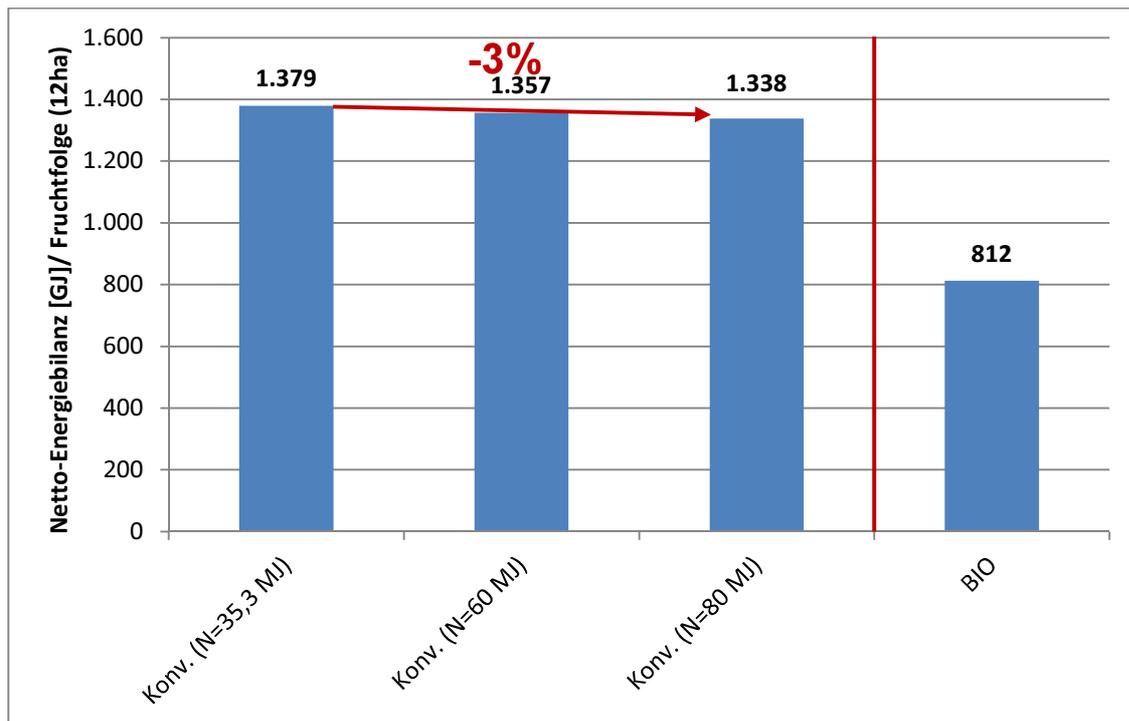


Abbildung 71: Auswirkungen auf die Netto-Energiebilanz in GJ der summierten konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge (12 ha) bei steigendem Energieäquivalent für die mineralische Stickstoffdüngung (35,3 MJ/kg N, 60 MJ/kg N, 80 MJ/kg N), im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge

## 5.6.2 Energetische Bewertung des Einsatzes von Gülle

Bei der energetischen Bewertung des Gülleeinsatzes wurde das Bewertungsmodell von HÜLSBERGEN (2003) verwendet. So beschreibt HÜLSBERGEN (2003) in seiner Habilitationsschrift die anzusetzenden Energieäquivalente aufgrund von mittleren Werten bei der Zusammensetzung von organischen Düngern.

Die eingesetzte Schweinegülle bewertet Hülsbergen mit folgenden Durchschnittsparametern:

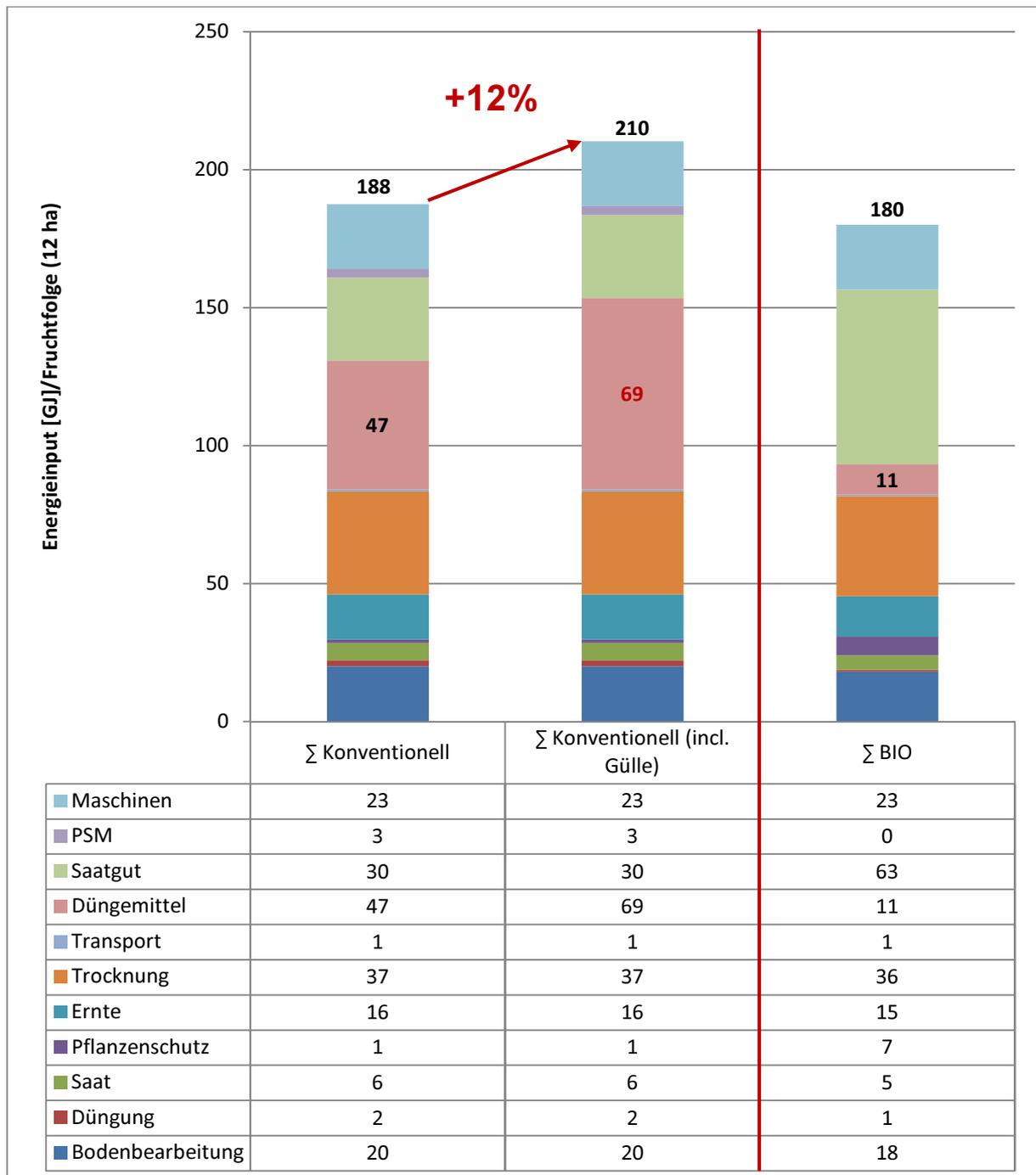
- Trockenmassegehalt 6 %
- N-Gehalt in der Trockenmasse 6,8 %
- P-Gehalt in der Trockenmasse 2,4 %
- K-Gehalt in der Trockenmasse 4,3 %
- Mineraldüngeräquivalent für den N-Gehalt 70 %
- Mineraldüngeräquivalent für den P- und K-Gehalt 100 %

Daraus ergibt sich ein Energieäquivalent von **3,03 MJ pro kg Trockenmasse** oder 0,18 MJ pro kg Gülle.

Wie in Abbildung 72 ersichtlich ergibt sich für die konventionelle Fruchtfolge aufgrund des Einsatzes von Schweinegülle ein energetischer Mehraufwand von 22,7 GJ über den Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012.

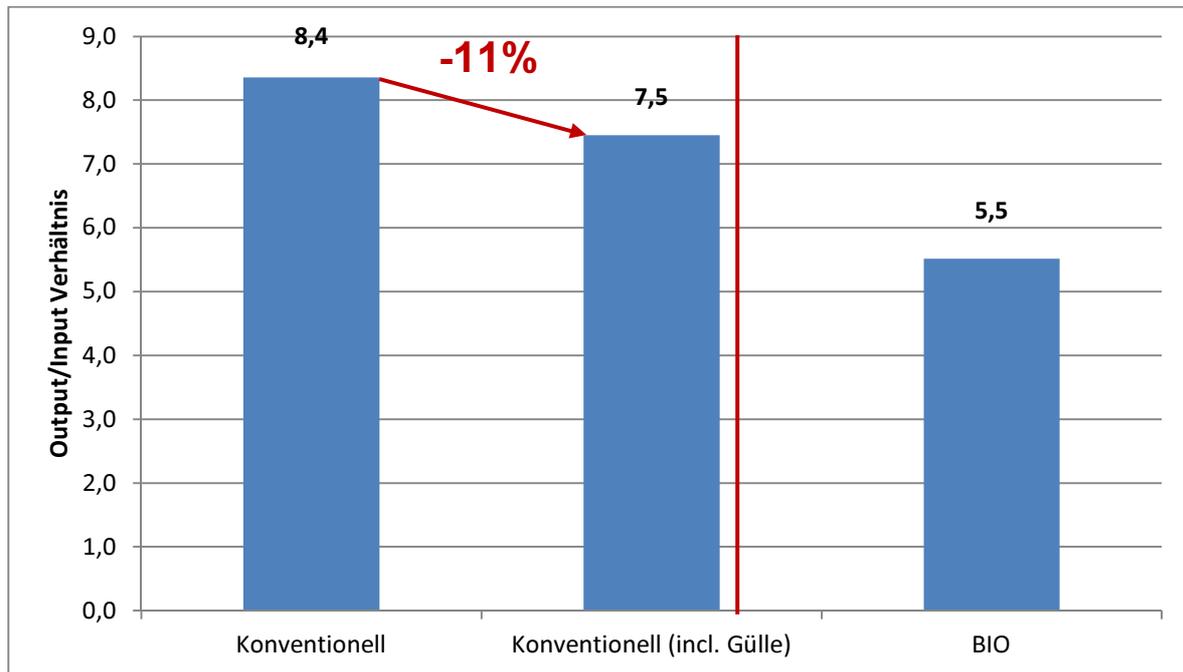
Der gesamte Energieinput erhöht sich somit von 188 GJ auf 210 GJ. Der Mehraufwand beträgt somit rund 12 %. Im Vergleich zur ökologischen Fruchtfolge ergibt sich ein höherer Energieaufwand von 14 %.

Die Veränderung bei den energetischen Kennzahlen ist in den Abbildungen 73 – 75 ersichtlich.



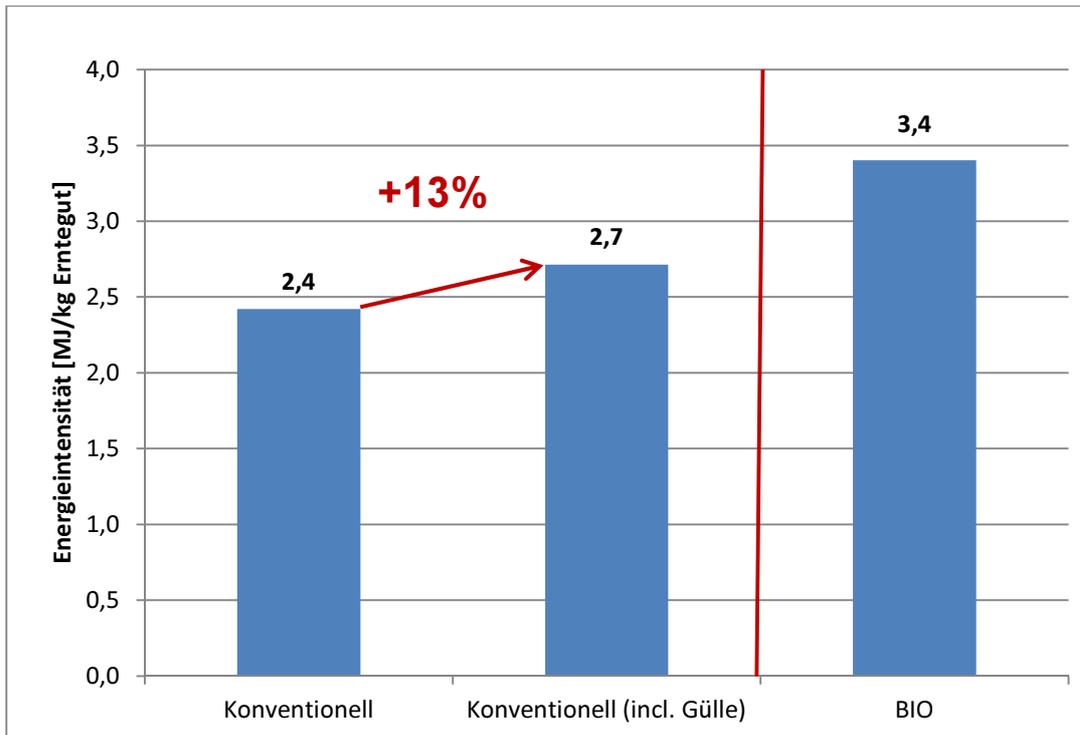
**Abbildung 72: Energieinput [GJ/12 ha] der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge**

Beim Output/Input Verhältnis (Abbildung 73) ergibt sich eine Änderung von 8,4 auf nur mehr 7,5. Das entspricht einer Abnahme von 11 %.



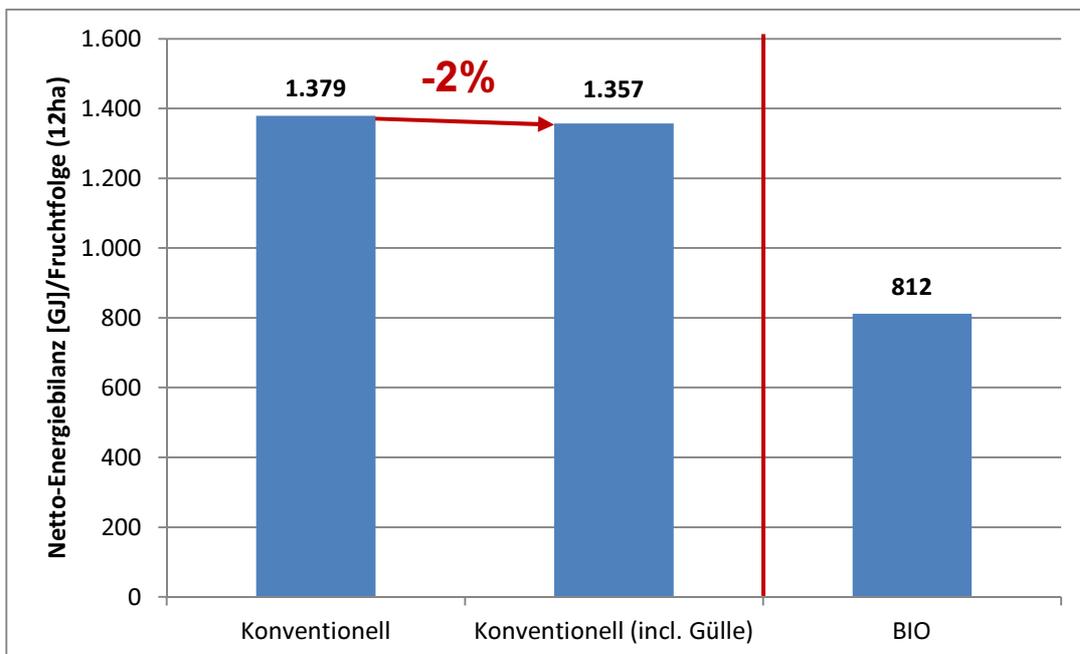
**Abbildung 73: Output/Input Verhältnis der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Güllendüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge**

Bei der Energieintensität [MJ/kg Erntegut] (Abbildung 74) ergibt sich ein Anstieg von einem Energieaufwand von 2,4 MJ/kg Erntegut auf 2,7 MJ/kg Erntegut. Das ist eine Veränderung von + 13 %. Im Vergleich zur ökologischen Fruchtfolge verringert sich der Vorteil auf nur noch 26 %.



**Abbildung 74: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge**

Wie schon bei der Bewertung des mineralischen Stickstoffdüngers, ergibt sich nur ein minimaler Unterschied in der Netto-Energiebilanz (Abbildung 75) für die gesamte Fruchtfolge von 2010 bis 2012. Der Unterschied beträgt nur 22 GJ oder rund 2 %.



**Abbildung 75: Netto-Energiebilanz in GJ/12 ha der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über die Jahre 2010 bis 2012 ohne bzw. mit energetischer Bewertung der Gülledüngung im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge**

### 5.6.3 Sensitivitätsanalyse – Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut

Beim Energieaufwand für die Saatgutmischungen wurde im Grundmodell mit einem Energieäquivalent von 50 MJ/kg Saatgut gerechnet. Dieser Wert ist ein Mittelwert aus den Energieäquivalenten für mehrere Saatgutkomponenten. In vielen Fällen ist aber ein hoher Anteil an Getreide in der Saatmischung enthalten, welches nur einen sehr geringen Energieaufwand von 5,5 MJ/kg bei der Produktion erfordert. RAMHARTER (1999) geht von noch geringeren Energieaufwänden für die Produktion von Getreidesaatgut aus. So gibt er den Aufwand für Winterweizen konventionell mit 2,86 MJ/kg und für Winterweizen biologisch mit 1,52 MJ/kg an. Bei Kleegrasmischungen geht BOCKISCH (2000) von einem Energieaufwand in der Saatgutproduktion von 21 MJ/kg aus. Auch dieser Wert spricht dafür, einen geringeren Wert als die angenommenen 50 MJ/kg zu verwenden.

Der Aufwand für Saatgut, berechnet mit diesem relativ hohen Energieäquivalent von 50 MJ/kg, ist in der biologischen Fruchtfolge einer der wesentlichen Faktoren auf Seite des Energieinputs (bei Getreide bis zu 60 % des gesamten Energieaufwandes).

Aus diesem Grund wird auch eine Sensibilitätsanalyse für den Energieaufwand bei der Produktion von Saatgut (bei Saatgutmischungen) durchgeführt.

Eingesetzt werden dabei die Werte:

- **50 MJ/kg** Saatgut (vorliegendes Modell)
- **25 MJ/kg** Saatgut
- **10 MJ/kg** Saatgut

Anders als beim mineralischen Stickstoffdünger und beim Einsatz von Schweinegülle, wo der Wert für den Energieinput auf Seiten der konventionellen Fruchtfolge erhöht wurde, wird beim Saatgut der Energieinput auf Seiten der biologischen Fruchtfolge verringert.

Wie in Abbildung 76 ersichtlich ergeben sich damit folgende Änderungen auf das bestehende Modell. Ausgehend von einem Energieaufwand von 63 GJ für Saatgut (50 MJ/kg) bezogen auf die viergliedrige ökologische Fruchtfolge auf den Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012, verringert sich dieser Wert zunächst auf 48 GJ (20 MJ/kg) und in weiterer Folge auf 39

GJ (10 MJ/kg). Das entspricht bei der Verringerung des Energieaufwandes für die Produktion von Saatgutmischungen von 50 MJ/kg auf 10 MJ/kg einer Reduktion des Energieinputs von 24 GJ oder 13 %.

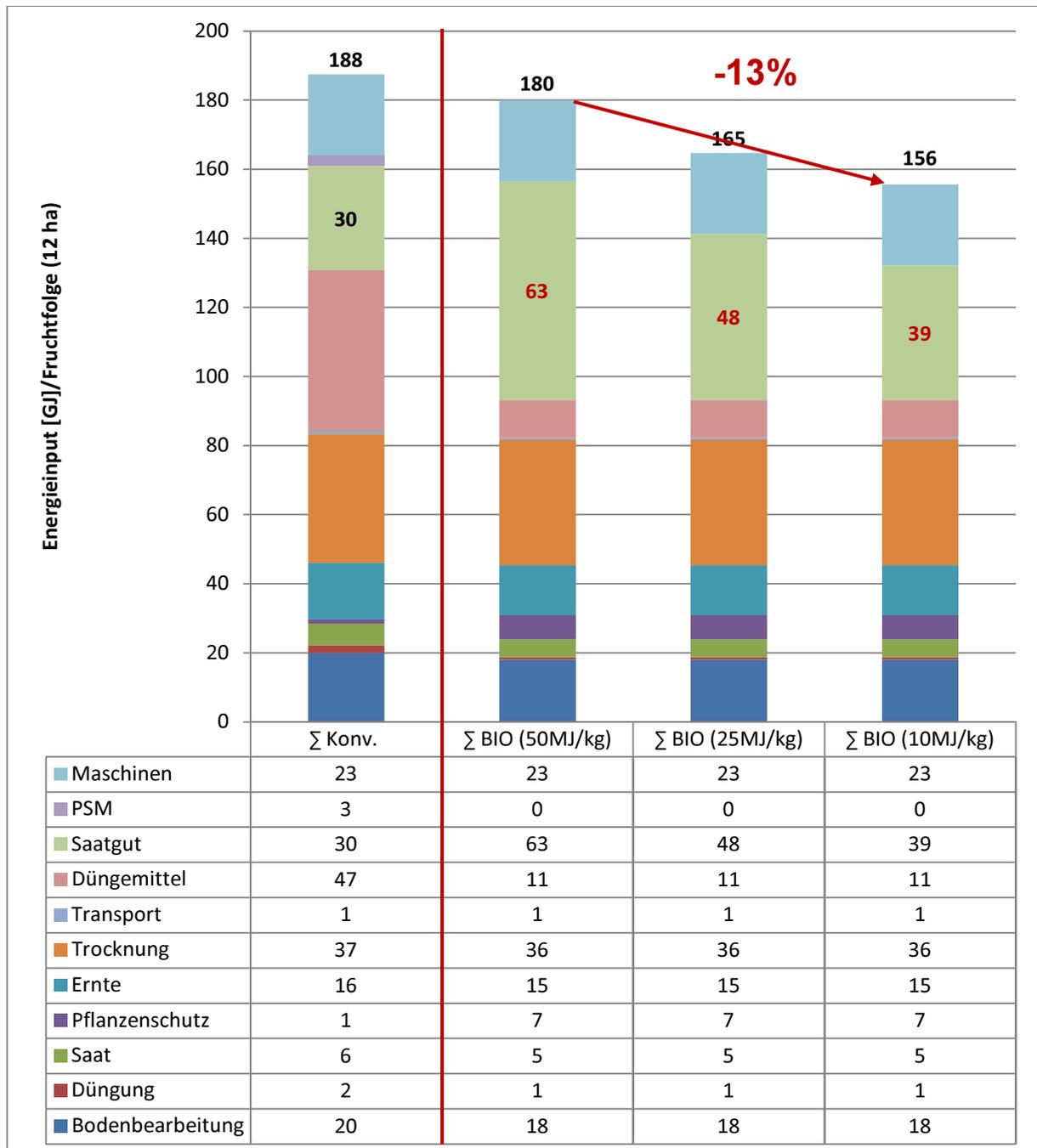
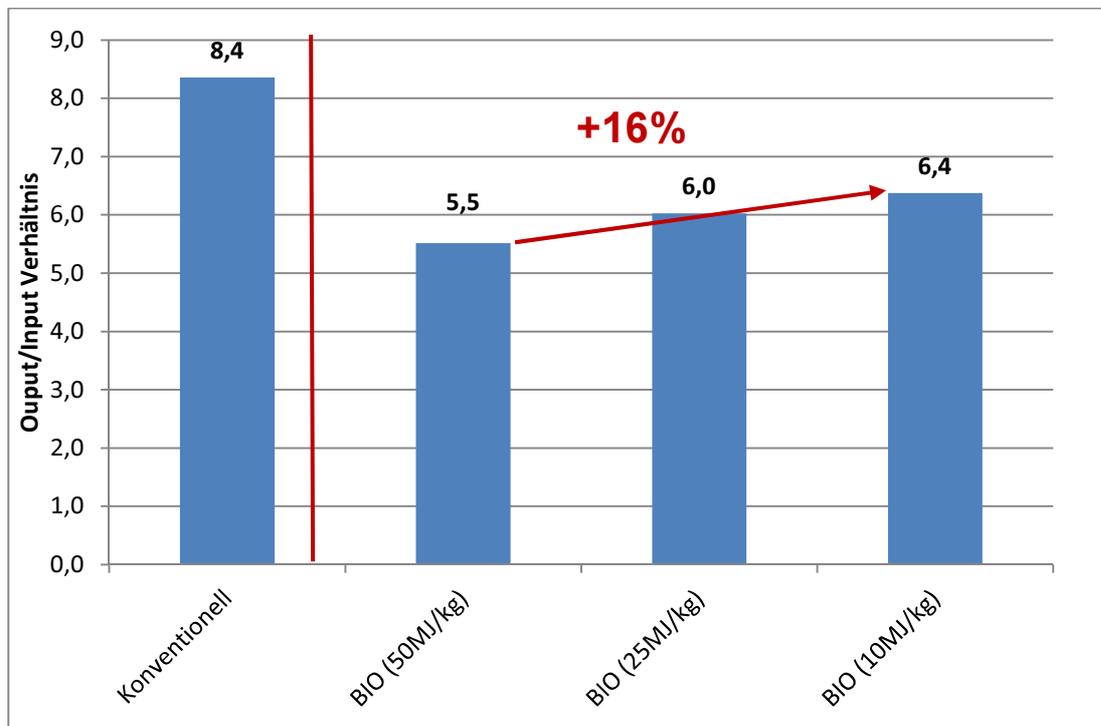


Abbildung 76: Energieinput [GJ/12 ha] der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg)

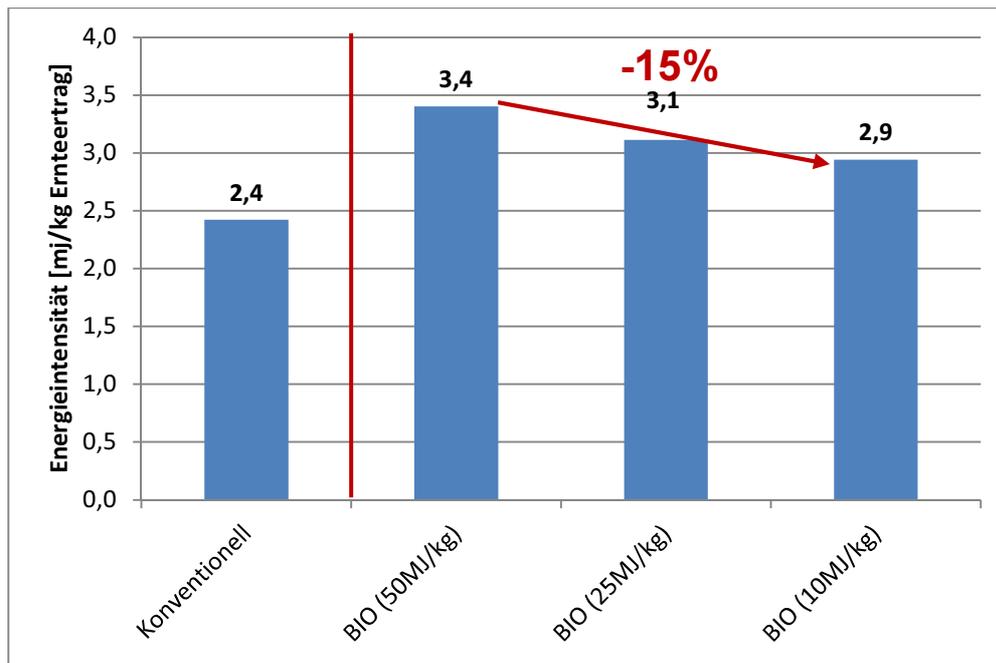
Die Änderungen bezogen auf die energetischen Kennzahlen sind in Abbildung 77 – 79 ersichtlich.

Beim Output/Input Verhältnis (Abbildung 77) gibt es eine Änderung von 5,5 auf 6,4. Das entspricht einer Steigerung von 16 %. Bezogen auf das Verhältnis von 8,4 der konventionellen Fruchtfolge verringert sich der Abstand auf 24 %.



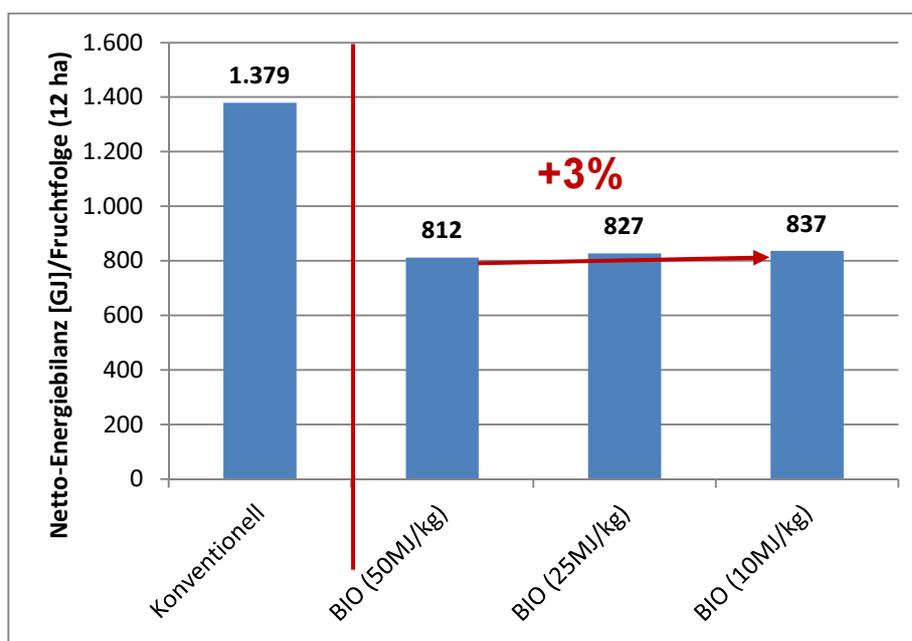
**Abbildung 77: Output/Input Verhältnis der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg)**

Bei der Energieintensität [MJ/kg Erntegut] (Abbildung 78) verändert sich der Wert von 3,4 MJ/kg Erntegut auf 2,9 MJ/kg Erntegut. Das ist ein Rückgang von 15 %. Der Abstand zur konventionellen Fruchtfolge beträgt somit nur noch 21 %.



**Abbildung 78: Energieintensität in MJ pro kg Erntegut der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg)**

Wie schon bei den vorangehenden Berechnungen ergibt sich keine wesentliche Änderung auf Seiten der Netto-Energiebilanz [GJ] (Abbildung 79). Über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012 erhöht sich die Netto-Energiebilanz um 25 GJ oder 3%.

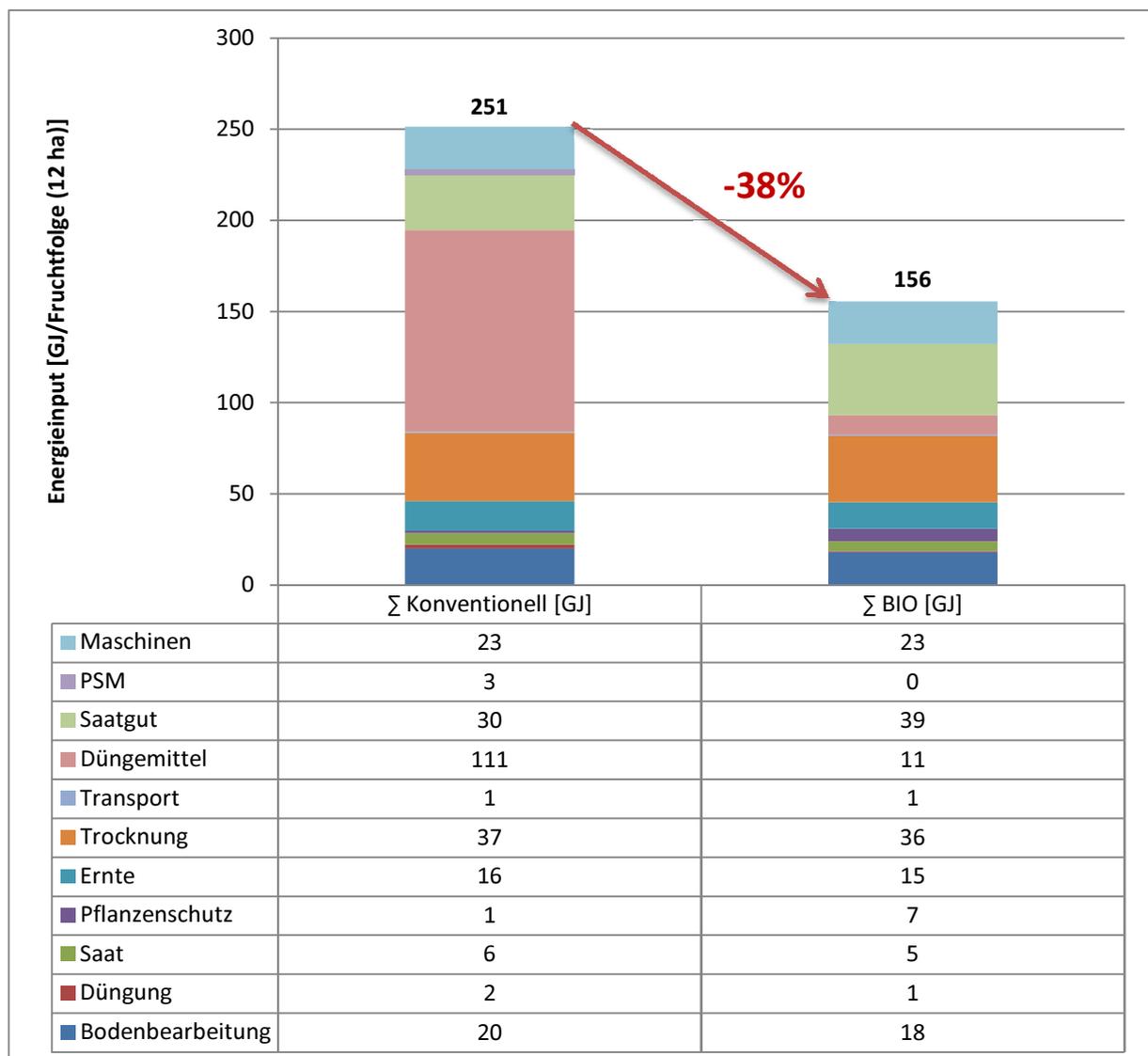


**Abbildung 79: Netto-Energiebilanz in GJ/12 ha der konventionellen 4-gliedrigen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012, im Vergleich zur summierten biologischen 4-gliedrigen Fruchtfolge mit sinkendem Energieäquivalent für die Saatgutproduktion (50 MJ/kg, 25 MJ/kg, 10 MJ/kg)**

#### 5.6.4 Ergebnisse des adaptierten Modells

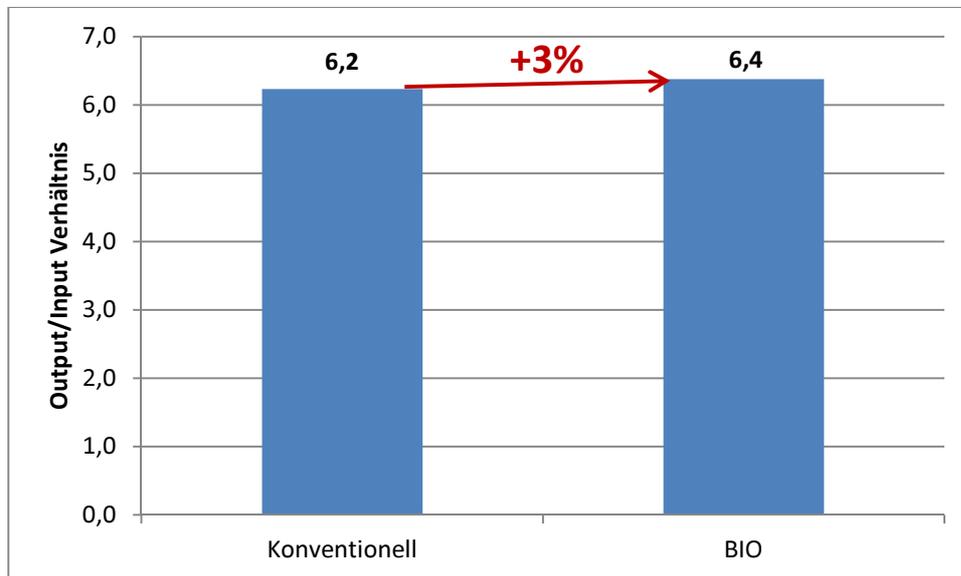
Bei Berücksichtigung der angepassten Energieäquivalente für mineralischen Stickstoffdünger, für Saatgut und für die Gülledüngung, in einem gemeinsamen adaptierten Modell, ändert sich das zuvor berechnete Ergebnis signifikant.

Wie in Abbildung 80 ersichtlich, kommt man vom vormals relativ ähnlichen Energieinput von 188 GJ auf Seiten der konventionellen Fruchtfolge und von 180 GJ auf Seiten der ökologischen Fruchtfolge auf nunmehr 251 GJ bei konventioneller Bewirtschaftung und 156 GJ bei ökologischer Bewirtschaftung. Aus dem unwesentlichen Unterschied im Energieinput von nur 4 % im Standardmodell, wird ein Unterschied von 38 % im adaptierten Modell.



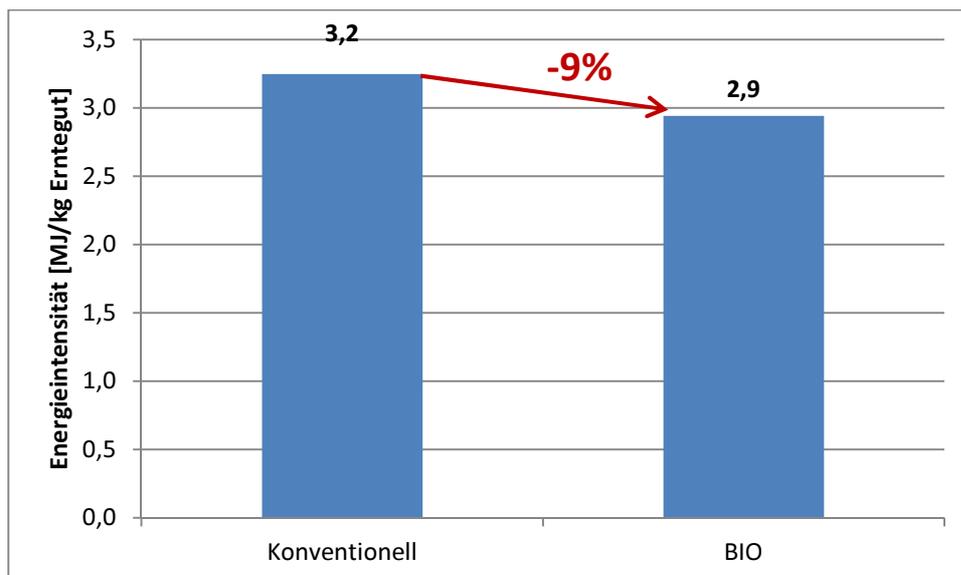
**Abbildung 80: Energieaufwand des adaptierten Modells in GJ/12 ha der 4-gliedrigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den gesamten Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

Beim Output/Input-Verhältnis (Abbildung 81) ist die ökologische Fruchtfolge mit einem Wert von 6,4 um 3 % besser zu bewerten als die konventionelle Fruchtfolge mit einem Wert von 6,2.



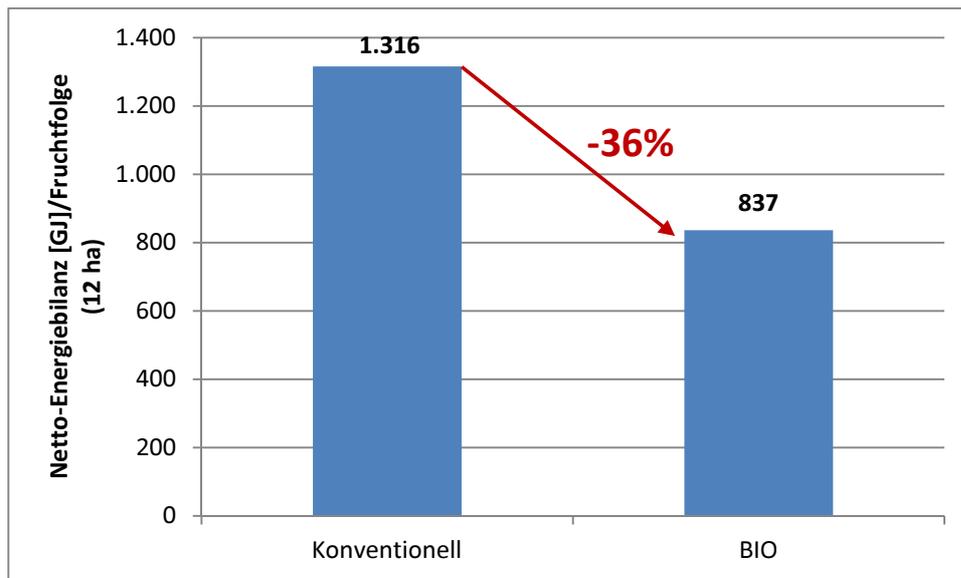
**Abbildung 81: Output/Input Verhältnis des adaptierten Modells der 4-gliedigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

Bei der Energieintensität (Abbildung 82) ist auf Seiten der konventionellen Fruchtfolge ein um 9 % höherer Energieaufwand in MJ pro kg Erntegut zu verzeichnen.



**Abbildung 82: Energieintensität des adaptierten Modells in MJ pro kg Erntegut der 4-gliedigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

Wenig Auswirkungen hat die Adaption des Modells, wie schon zuvor festgestellt, auf den Bereich der Netto-Energiebilanz (Abbildung 83). Hier bleibt, aufgrund der höheren Erträge bei konventioneller Bewirtschaftung, der Vorteil auf Seiten eben dieser. Die Netto-Energiebilanz über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2012 liegt mit 1.316 GJ bei konventioneller Bewirtschaftung um 36 % höher als bei der biologischen Bewirtschaftung mit 837 GJ.



**Abbildung 83: Netto-Energiebilanz des adaptierten Modells in GJ/12 ha der 4-gliedrigen konventionellen und biologischen Fruchtfolge summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012**

## 6 Schlussfolgerungen

### 6.1 Schlussfolgerungen für die Praxis

Durch die Lage im Wasserschutzgebiet und die durchlässigen Schotterböden wird eine reduzierte Düngung erforderlich um keine Nährstoffverluste durch Auswaschung zu riskieren. Erträge werden somit zwar reduziert, stellen aber in Hinsicht auf die Problematik der Nitratauswaschung ein Optimum dar.

Die angebauten viergliedrigen Fruchtfolge (Körnermais – Triticale – Körnermais – Kürbis), ist für den BIO Landbau keine ökologisch nachhaltige Fruchtfolge. Durch den hohen Anteil an Hackfrüchten würden sowohl die Humusbilanz als auch etwaige Nährstoffbilanzen negativ ausfallen. Diese blattreiche Fruchtfolge ist am Standort Wagna jedoch aus Grundwasserschutzgründen notwendig, weil die Gefahr der Nitratauswaschung ins Grundwasser nach Klee gras- bzw. Luzerneumbruch hier zu hoch ist.

Aufgrund der reduzierten Mengen bei der Gabe von mineralischen Düngern reduziert sich bei der konventionelle Wirtschaftsweise ein wesentlichen Energieaufwand und sie wird im Vergleich zur biologischen Wirtschaftsweise effektiver.

Die Bewertung von Gülle als Kuppelprodukt (nur die Ausbringung wird energetisch bewertet) ergibt wiederum einen Vorteil für die konventionelle Bewirtschaftung, weil in der biologischen Bewirtschaftung keine Gülle eingesetzt wird und nur ein sehr geringer Energieaufwand durch die Ausbringung entsteht.

Das sehr hoch angesetzt Energieäquivalent für die Produktion von Saatgutmischungen (50 MJ/kg Saatgut), führt zu hohen Energieaufwänden bei der biologischen Bewirtschaftung, weil hier versucht wird die Flächen dauernd begrünt zu halten. Die geringe Menge an verfügbaren Nährstoffen soll hier nicht durch Erosion und Auswaschung noch weiter reduziert werden.

Betrachtet man nun das Basismodell, so ergibt sich summiert über den Versuchszeitraum von 2010 bis 2012 ein um 4 % unwesentlich geringerer Energieinput auf Seiten der biologischen Wirtschaftsweise. (BIO: 2010: - 16 %, 2011: + 9 %, 2012: - 2 %)

Dem Energieinput gegenüber steht ein um 40 % wesentlich geringerer Energieoutput in Form von Ernteertrag. Bezogen auf die Netto-Energiebilanz ergibt sich somit mit 1.379 GJ ein um

41 % höheres Ergebnis bei der konventionellen Bewirtschaftung als bei der biologischen mit 812 GJ (BIO: 2010: - 34 %; 2011: - 59 %; 2012: - 29 %).

Beim Output/Input Verhältnis liegen die Ergebnisse der konventionellen Bewirtschaftung mit einem Wert von 8,4 um 35 % höher als bei der biologischen Bewirtschaftung mit 5,5 (BIO: 2010: - 20 %; 2011: - 55 %; 2012: - 27 %).

Die Energieintensität, also die eingesetzte Energie für ein Kilogramm erzeugtes Erntegut liegt bei konventioneller Bewirtschaftung mit 2,4 MJ/kg um 42 % geringer als bei der biologischen mit 3,4 MJ/kg (BIO: 2010: +/- 0 %; 2011: + 119 %; 2012: + 40 %).

Somit ergeben sich im Vergleich der unterschiedlichen Wirtschaftsjahre sowohl im Energieinput, als auch im Energieoutput wesentliche Unterschiede. Diese sind zum größten Teil auf das Wetter zurückzuführen (Ertragseinbußen aufgrund von Dürre, Frost und Hagel; späterer Anbau). So ist in manchen Jahren ein höherer maschineller Aufwand aufgrund von Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig. Bei einem heißen, trockenen Herbst entfällt teilweise die Trocknung. Bei Spätfrösten kann ein neuerlicher Anbau der Hauptkultur notwendig sein.

Werden die Schwächen des Basismodells teilweise ausgeräumt und ein adaptiertes Modell erstellt, führt das zu wesentlichen Änderungen im Gesamtergebnis.

Die Adaptierung im Bereich des Energieäquivalentes für den Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger (Steigerung von 35,3 MJ/kg Reinnährstoff auf 80 MJ/kg Reinnährstoff) führt zu einem erhöhten Energieinput auf Seiten der konventionellen Fruchtfolge von 22 %.

Die Bewertung der Nährstoffinhalte der Gülle im konventionellen Modell führt zu einer neuerlichen Steigerung des Energieinputs bei konventioneller Bewirtschaftung um 12 %.

Bei einer Reduzierung des Energieäquivalentes für den Einsatz von Saatgutmischungen in der biologischen Bewirtschaftung (Reduzierung von 50 MJ/kg Saatgut auf 10 MJ/kg Saatgut) sinkt der Energieinput um 13 %.

Somit ergibt sich für das adaptierte Modell ein Energieinput auf Seiten der konventionellen Bewirtschaftung von 251 GJ der um 38 % höher ist als bei der biologischen Bewirtschaftung mit 156 GJ. Der niedrigere Energieinput wirkt der biologischen Fruchtfolge wirkt sich in weiterer Folge auch wesentlich auf die energetischen Kennzahlen aus.

Das Output/Input Verhältnis ist in der biologischen Bewirtschaftung mit einem Wert von 6,4 um 3 % besser als in der konventionellen Bewirtschaftung mit 6,2.

Auch bei der Energieintensität liegt die biologische Bewirtschaftung mit 2,9 MJ/kg jetzt mit 9 % unter dem Wert der konventionellen Bewirtschaftung mit 3,2 MJ/kg.

Einzig bei der Netto-Energiebilanz kommt es zu keinen signifikanten Veränderungen. Hier bleibt die konventionelle Bewirtschaftung mit 1.316 GJ um 36 % höher als die biologische Bewirtschaftung mit 837 GJ.

Beim Vergleich der Ergebnisse auf Jahresbasis im Standardmodell fallen sehr hohe Unterschiede im Jahresverlauf auf. Diese sind zum größten Teil witterungsbedingt.

Der Aufwand der Trocknung hat einen wesentlichen Effekt auf den gesamten Energieaufwand beim Körnermais.

Auf die Abfuhr des Strohs beim Triticaleanbau wurde in der biologischen Fruchtfolge verzichtet. Hier wird neben dem Anbau von Begrünungen, Untersaaten und Zwischenfrüchten versucht durch die Einbringung des Strohs den Humusgehalt in den Böden, auf Kosten des Energieertrages, zu steigern.

Das Fruchtfolglied Kürbis erscheint bei einer energetischen Bewertung nicht standhalten zu können. Hier kommt es aufgrund eines sehr hohen Energieaufwandes und auf energetischer Basis, relativ geringem Ertrag, teilweise zu einer negativen Netto-Energiebilanz. Der monetäre Ertrag auf Basis von Erzeugerpreisen (für konventionelle Ware) ist beim Kürbis (3625 €/Tonne) im Vergleich zu Körnermais (148 €/Tonne) und Triticale (142 €/Tonne) um Faktor 25 höher, somit erscheint die Produktion von Kürbis ökonomisch auf jeden Fall als sinnvoll.

Mais findet in der Südsteiermark perfekte Voraussetzungen für hohe Erträge vor. Durch den Einsatz von Standort angepassten Hybriden haben die Erträge in den letzten 50 Jahren enorme Zuwächse verzeichnen können (DIEPENBROCK et. al. 2009). Er wird in der Steiermark auch gerne als „Brotfrucht“ des Ackerbaus bezeichnet. Ertragsseitig ist Mais als das Optimum zu betrachten. Seiner wichtigen wirtschaftlichen Bedeutung wird mit 50 % Anteil in der Fruchtfolge Rechnung getragen.

Triticale zeigt am Standort Wagna die größten Unterschiede im Ertrag zwischen den unterschiedlichen Bewirtschaftungsmodellen. Hier werde mit biologischer Bewirtschaftung im Schnitt nur etwa 50 % des Ertrages der konventionellen Bewirtschaftung erzielt.

## 6.2 Schlussfolgerungen für die Wissenschaft

Der Versuchszeitraum über drei Jahre ist bei einer vierjährigen Fruchtfolge nicht optimal gewählt. Aufgrund des Beginnes der gleichen Fruchtfolge für biologische und konventionelle Bewirtschaftung im Jahre 2010, sind aber zum aktuellen Zeitpunkt nicht mehr Daten verfügbar.

Der Energieaufwand ist bei biologischer Wirtschaftsweise in jedem Fall geringer als bei konventioneller Bewirtschaftung (- 4 % im Basismodell, - 38 % im adaptierten Modell). Dieser Umstand ist als Vorteil des biologischen Landbaus zu werten und sollte der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Die Aussagekraft von energetischen Kennzahlen (Output/Input Verhältnis, Energieintensität, Netto-Energiebilanz) ist unterschiedlich. Dreht sich die Bilanz beim Output/Input Verhältnis und der Energieintensität von einem positiven Ergebnis für die konventionelle Bewirtschaftung im Basismodell zu einem positiven Ergebnis bei biologischer Bewirtschaftung bei Anwendung des adaptierten Modells, so bleibt das Ergebnis für die Netto-Energiebilanz, aufgrund der höheren Erträge, in beiden Modellen positiv für die konventionelle Bewirtschaftung.

Die Sensitivitätsanalysen über den Energieaufwand für die Produktion von mineralischem Stickstoffdünger bzw. für die Produktion von Saatgutmischungen zeigen, dass diesen Aufwänden in der Energiebilanzierung eine hohe Wichtigkeit zugesprochen werden muss.

Bei der energetischen Bewertung der zugeführten Nährstoffe bei der Gülledüngung wird ersichtlich, dass diese, um unterschiedliche Systeme vergleichbar zu machen, notwendig ist.

Große Sorgfalt bei der Auswahl der verwendeten Energieäquivalente ist notwendig. Diese weisen oft sehr hohe Varianzen auf, wie das Beispiel mineralischer Stickstoffdünger (35,3 MJ/kg bis 80 MJ/kg) sehr deutlich zeigt. Allgemeingültige Werte sind in den meisten Fällen nicht verfügbar, was die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Bilanzierungsmodelle wiederum beeinträchtigt.

## 7 Kritische Reflexion der vorliegenden Arbeit

Die Schwächen der vorliegenden Arbeit (ein mit 35,3 MJ/kg sehr geringer Energieaufwand für die Herstellung von mineralischem Stickstoffdünger, Einsatz von Gülledüngung in der konventionellen Bewirtschaftung, wobei die Gülle als Kuppelprodukt bewertet wurde und ein sehr hoher Wert von 50 MJ/kg bei der Herstellung von Saatgut für Saatgutmischungen) wurden teilweise durch die Erstellung eines adaptierten Modells (Energieaufwand für mineralische Stickstoffdüngemittel erhöht von 35,3 MJ/kg auf 80 MJ/kg, Gülle bewertet mit 3,03 MJ/kg Trockenmasse und Energieaufwand bei der Saatgutherstellung für Saatgutmischungen reduziert von 50 MJ/kg auf 10 MJ/kg) zur Energiebilanzierung aufgewogen.

Der Effekt des Einsatzes von mineralischem Stickstoffdünger und des Energieaufwandes bei der Produktion von Saatgutmischungen wurden dabei mittels Sensitivitätsanalyse erhoben, der Einsatz von Gülledüngung wurde im adaptierten Modell energetisch bewertet.

Bei der angebauten viergliedrigen Fruchtfolge (Körnermais – Triticale – Körnermais – Kürbis), handelt es sich für den BIO Landbau um keine ökologisch nachhaltige Fruchtfolge. Durch den hohen Anteil an Hackfrüchten fallen sowohl die Humusbilanz als auch etwaige Nährstoffbilanzen negativ aus. Diese blattreiche ökologische Fruchtfolge ist am Standort Wagna aus Grundwasserschutzgründen aber notwendig, weil die Gefahr der Nitratauswaschung ins Grundwasser nach Klee gras- bzw. Luzerneumbruch hier zu hoch ist.

Wie bereits angemerkt bleibt aber das Problem des kurzen Versuchszeitraumes von drei Jahren (2010, 2011 und 2012). Hier wäre eine längere Dauer wesentlich aussagekräftiger, da die enormen Witterungseffekte der unterschiedlichen Jahre zumindest Teilweise ausgeglichen werden könnten.

Wie sich gezeigt hat, ist der Einsatz eines Standardmodells für die Energiebilanzierung nicht auf jedem Standort möglich. Hier muss, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, sehr auf die spezifischen Gegebenheiten des Standortes eingegangen werden. In der vorliegenden Arbeit wurde dies mit dem adaptierten Modell versucht.

Der Anspruch auf Vollständigkeit kann beim vorliegenden Modell nicht gestellt werden. So konnte aufgrund fehlender Literaturwerte für die Reinigung und die Trocknung von Kürbiskernen, nicht auf diesen Energieinput eingegangen werden.

Die Energieäquivalente, die für die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz gekommen sind, sind zwar allgemein gültig, aber erscheinen zumindest teilweise als veraltet.

Gemessene Werte für den Energieverbrauch können durch Berechnungen mit Durchschnittswerten nicht ersetzt werden. Um eine möglichst hohe Aussagekraft der Ergebnisse zu gewährleisten, sollten die mittels KTBL Feldarbeitsrechner berechneten Energieaufwände am Standort selbst, direkt bei den Arbeitsgängen gemessen werden.

Die Berechnung der Trocknung von Körnermais bezieht sich auf die Grundlagenarbeit von Rossrucker aus dem Jahr 1977. Hier ist zu hinterfragen, ob bei modernen Anlagen nicht mit wesentlich höherer Effektivität gearbeitet werden kann, oder ob die Berechnungen noch Gültigkeit besitzen.

## 8 Weiterführende Arbeiten

Für eine allgemein gültige Aussage muss ein wesentlich längerer Zeitraum als die vorliegenden drei Bewirtschaftungsjahre beobachtet bzw. ausgewertet werden. Es sollten zumindest zwei vollständige Durchläufe der viergliedrigen Fruchtfolge gegenübergestellt werden, um ein konventionelles mit einem ökologischen Bewirtschaftungsmodell vergleichen zu können. Der Untersuchungszeitraum müsste also auf zumindest acht Jahre ausgedehnt werden. Auch ist in der aktuellen ökologischen Fruchtfolge angedacht, einmal in acht Jahren als Hauptfrucht Leguminosen anzubauen, was die Stickstoffanreicherung in der ökologischen Fruchtfolge steigern würde. Wie sich diese einjährige Anbaupause auf das Gesamtergebnis auswirken würde, gilt es aber abzuklären.

Um eine klare Aussage treffen zu können sollten Effekte wie die unterschiedliche Bodenstruktur und Bodengüte auf den verschiedenen Parzellen in die Berechnungen miteinbezogen werden.

Das Phänomen des Wettereinflusses sollte in eine vollständige und aussagekräftige Berechnung mit einfließen. In den beobachteten drei Jahren kam es zu Ausfällen aufgrund von Hagel von bis zu 50 % und aufgrund von hohem Unkrautdruck musste zumindest 2012 bei biologischer Bewirtschaftung zweimal angebaut werden. Will man eine allgemein gültige Aussage treffen können, erscheint die genauere Betrachtung und Berücksichtigung der Wetterphänomene als sinnvoll.

Um eine bessere Detailtreue zu erhalten, wäre auch der Energieaufwand bei der Trocknung von Kürbiskernen zu berücksichtigen.

Eine zusätzliche ökonomische Bewertung der Ergebnisse könnte die Wichtigkeit unterstreichen, eine möglichst Energieeffiziente Fruchtfolge zu gestalten.

Um einen holistischen Ansatz in die Berechnungen zu bringen, könnte im nächsten Schritt eine Bewertung der Umweltverträglichkeit auf Basis von CO<sub>2</sub> Äquivalenten erfolgen.

Pauschaliert angenommene Werte, wie der Energieaufwand für die Herstellung der eingesetzten Maschinen sollten detailliert aufgeschlüsselt und neu berechnet werden.

Für die Bewertung mittels Energieäquivalenten sollte überprüft werden, ob die angeführten Quellen noch dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Effizienzsteigerungen sind durchaus denkbar, wie am Beispiel der Produktion von Stickstoffdünger aufgezeigt wurde.

## 9 Zusammenfassung

Energie an sich spielt seit den 1970ern eine große Rolle. Die Energiekrise hat die Begriffe Energieeinsatz und Energieeffizienz geprägt. In vielen Bereichen sind sie heute nicht mehr wegzudenken und auch in der Landwirtschaft werden sie in naher Zukunft eine wesentliche Rolle spielen.

Am Versuchsstandort des Versuchsreferates Steiermark in Wagna der Südsteiermark, werden eine konventionelle und eine biologische Fruchtfolge direkt nebeneinander angebaut. Dies ist nahezu einzigartig in Österreich. Der Versuchsstandort liegt auf schottrigen, durchlässigen Böden, im Wasserschutzgebiet des Leibnitzer Feldes, wo aufgrund der Gefahr der Nährstoffauswaschung, eine reduzierte Düngung erforderlich ist.

Angebaut wird eine viergliedrige Fruchtfolge, mit den Fruchtfolgegliedern Körnermais – Triticale – Körnermais – Kürbis.

Die wesentlichen Unterschiede in der konventionellen und der biologischen Wirtschaftsweise am Standort Wagna sind die mineralische Düngung und der Einsatz von Gülle bei der konventionellen Bewirtschaftung im Gegensatz zu Leguminosen in Zwischenfrucht-saatmischungen und Untersaaten bei der biologischen Bewirtschaftung. Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgt bei konventioneller Bewirtschaftung mit synthetischen Pflanzenschutzmitteln, in der biologischen Bewirtschaftung wird Unkraut mechanisch bekämpft, ansonsten entfällt der Pflanzenschutz.

Diese speziellen Voraussetzungen am Standort Wagna führen zu interessanten Ergebnissen bei der Energiebilanzierung.

Energieaufwand wird in den direkten Energieaufwand (für Diesel, Heizöl und Strom bei der Feldarbeit, Trocknung von Körnermais und Transport) und den indirekten Energieaufwand (für die Produktion von Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmittel und die Herstellung der Maschinen) unterteilt. Diese bilden gemeinsam den Energieinput. Der Energieoutput wird durch den Ertrag in Form von Körnermais, Getreide Korn + Stroh und Kürbiskernen, beschrieben. Um diese Werte miteinander vergleichen und sie in Beziehung zueinander bringen zu können, werden die einzelnen Aufwände und Erträge mittels Energieäquivalenten auf eine gemeinsame energetische Basis gebracht.

Bei der Bewertung der Energieeffizienz wird auf sogenannte energetische Kennzahlen zurückgegriffen. In der vorliegenden Arbeit wurden drei energetische Kennzahlen verwendet, das Output/Input-Verhältnis, die Energieintensität und die Netto-Energiebilanz

Zunächst wird jedes einzelne Fruchtfolgeglied bewertet, im nächsten Schritt wird die konventionelle und die biologische Fruchtfolge für die Jahre 2010, 2011 und 2012 berechnet und gegenübergestellt und im letzten Schritt erfolgt die Bewertung über den gesamten Versuchszeitraum von 2010 bis 2012.

Im anfänglich gewählten Modell stellten sich drei Kriterien als wesentlich für den Energieeinsatz heraus. So ist für die konventionelle Bewirtschaftung der Energieaufwand bei der Produktion von Düngemitteln und der Einsatz von Gülle zur Nährstoffversorgung wesentlich. Bei der biologischen Bewirtschaftung sind es die Aufwände für Produktion von Saatgut. Um die Auswirkungen dieser drei Faktoren auf die Energiebilanzierung bewerten zu können, wurde ein adaptiertes Modell erstellt, in dem mittels Sensitivitätsanalyse der Energieaufwand bei der Produktion von mineralischen N-Düngern von 35,3 MJ/kg auf 80 MJ/kg Reinstickstoff erhöht wurde, Gülle mit einem Energieäquivalent von 3,03 MJ/kg Trockenmasse bewertet wird und bei Saatgutmischungen der Energieaufwand von 50 MJ/kg auf 10 MJ/kg gesenkt wird.

Bei den Erträgen bleibt die biologische Bewirtschaftung klar hinter den Werten der konventionellen Bewirtschaftung zurück. Der Energieaufwand ist bei biologischen Bewirtschaftung im Standardmodell um 4 % und im adaptierten Modell um 38 % geringer

Vergleicht man die energetischen Kennzahlen so liegt das Output/Input Verhältnis im Basismodell bei biologischer Bewirtschaftung um 35 % geringer, die Energieintensität ist um 42 % höher und die Netto-Energiebilanz wiederum um 41 % geringer. Im Adaptierten Modell, mit dem wesentlich höheren Energieaufwand auf Seiten der konventionellen Bewirtschaftung, ist das Output/Input Verhältnis bei biologischer Bewirtschaftung um 3 % höher, die Energieintensität um 9 % geringer und die Netto-Energiebilanz bleibt aufgrund der höheren Erträge bei konventioneller Bewirtschaftung um 36% geringer.

Unter der Voraussetzung, dass Energie in Zukunft zum treibenden Kostenfaktor wird, wird dieses Ergebnis nochmals verdeutlicht, nachdem sowohl im Standardmodell (- 4 %) als auch im adaptierten Modell (- 38 %) der Energieinput auf Seiten der biologischen Bewirtschaftung geringer ist.

**Auf Basis der Berechnungen in der vorliegenden Arbeit ist die biologische Wirtschaftsweise am Standort Wagna zu bevorzugen.**

## 10 Literaturverzeichnis

AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten – Bedeutung, Nutzung und Anbau. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

BARDT, H. (2007): Steigerung der Energieeffizienz – Ein Beitrag für mehr Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit. Deutscher Instituts-Verlag, Köln.

BIEDERMANN, G. (2009): Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Weizenproduktion bei verschiedenen Produktionssystemen (konventionell und ökologisch) und verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen (Pflug, Mulchsaat, Direktsaat). BOKU-Diplomarbeit.

BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung – Anleitung für die Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage, <http://www.lebensministerium.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/boden-duengung/Bodenschutz.html> (abgefragt Mai 2013).

BMLFUW (2012): Grüner Bericht 2012. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Wien. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. <http://www.gruenerbericht.at> (abgefragt Mai 2013).

BOCKISCH, F. J.; AHLGRIMM, H. J.; BÖHME H.; BRAMM, A.; DÄMMGEN, U.; FLACHOWSKY, G.; HEINEMEYER, O; HÖPPNER, F.; MURPHY, D. P. L.; ROGASIK, J.; RÖVER, M.; SOHLER, S. (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Landbauforschung Volkerode – Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Sonderheft 211: 29-41

BÖRNER, H. (1995): Unkrautbekämpfung. Gustav Fischer Verlag, Jena.

- BÜHL, A. (2012): SPSS 20 – Einführung in die moderne Datenanalyse. 13., aktualisierte Auflage. Pearson Verlag, München.
- CIGR (1999): International Commission of Agricultural Engineering. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume V Energy and Biomass Engineering. American Society of Agricultural Engineers. <http://www.cigr.org/Handbook>. (Zugriff: 11.2012).
- DARGE, E. (2002): Energieinhalte (Brennwerte) von ldw. Produkten und sonstigen energetisch relevanten Daten. In Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950 – 1995, Eine humanökologische Untersuchung. Wien: IFF Social Ecology (Social Ecology Working Paper).
- DIEPENBROCK, W.; ELLMER, F.; LÉON, J. (2009): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grundwissen Bachelor. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- FREYER, B. (2003): Fruchtfolgen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- GALLER, J. (2008): Kalkdüngung – Basis für fruchtbare Böden. Landwirtschaftskammer Salzburg, Betriebsentwicklung und Umwelt. Salzburg.
- HOEPPNER, J.W.; ENTZ, M.H.; MCCONKEY, B.G.; ZENTNER, R.P.; NAGY, C.N. (2005): Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. Renewable Agriculture and Food Systems: 21(1), 60 – 67.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag, Aachen.
- KÖSTENBAUER, H. (2013): Vortrag am Feldtag 2013 – Ackerbau. Versuchsfläche Wagna bei Leibnitz.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2008): Energieeffizienz ökologischer und integrierter Anbausysteme. KTBL Schrift 463, 87 – 99.

MOITZI, G. (2012a): LV 931.310 Technik in der ÖLW. Vorlesungsunterlagen an der Universität für Bodenkultur.

MOITZI, G. (2012b): persönliche Mitteilung. Wien, 10/2012.

MOITZI, G. (2013): persönliche Mitteilung. Wien, 05/2013.

MOITZI, G.; THÜNAUER, G.; ROBIER, J.; GRONAUER, A. (2013): Energieeinsatz und Energieeffizienz der Körnermaisproduktion bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung in der Südsteiermark. Die Bodenkultur/ Journal for Land Management, Food and Environment, eingereicht am 12. April 2013..

ÖKL (2013): ÖKL Richtwerte 2013 Kraftstoffverbrauch. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung. Wien.

PEHNT, M. (2010): Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

RAMHARTER, R. (1999): Energiebilanzierung ausgewählter Feldfrüchte des biologischen und konventionellen Landbaus im pannonischen Klimaraum. BOKU-Dissertation

ROBIER, J. (2012): persönliche Mitteilung. Oberhaag, November 2012.

ROBIER, J. (2013): persönliche Mitteilung. Oberhaag, Mai 2013.

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

SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

SCHOLZ, V. (1997): Methodik zur Ermittlung des Energieaufwandes pflanzenbaulicher Produkte am Beispiel von Biofestbrennstoffen. Agrartechnische Forschung 3 H. 1, S.11-18

VERSUCHSREFERAT STEIERMARK (2012a): Versuchsbericht 2010. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. <http://www.versuchsreferat.at/>. Hatzenorf. (Zugriff: 11.2012).

VERSUCHSREFERAT STEIERMARK (2012b): Versuchsbericht 2011. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. <http://www.versuchsreferat.at/>. Hatzenorf. (Zugriff: 11.2012).

VERSUCHSREFERAT STEIERMARK (2013): Versuchsbericht 2012. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. <http://www.versuchsreferat.at/>. Hatzenorf. (Zugriff: 03.2013).

## 11 Anhang

Anhänge befindet sich auf der CD die der schriftlichen Masterarbeit beiliegt.

Detailldaten sind auf Nachfrage per e-Mail an [georg.thuenauer@gmail.com](mailto:georg.thuenauer@gmail.com) erhältlich.

### **Inhaltsverzeichnis Anhang**

Jeder Eintrag im Inhaltsverzeichnis stellt eine eigenständige Word Datei auf der beiliegenden CD dar.

1. Erträge im Detail
2. Energieberechnung im Detail
3. Energieaufwand für die Trocknung von Körnermais
4. Arbeitsschritte im Detail
5. Arbeitsgänge berechnet mit dem KTBL Feldarbeitsrechner im Detail
6. Statistische Signifikanzen