



2019 | Sven Grebe, Werner Achilles, Mathias Funk

Kumulierter Energieaufwand im Winterweizen

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Kalkulationsgrundlagen	3
2.1	Berechnung.....	3
2.2	Datenquelle.....	3
2.3	Spezifikationen der Produktionsverfahren.....	4
2.4	Teilarbeit.....	4
3	Berechneter Energieaufwand für Brotweizen	5
4	Diskussion der Ergebnisse	10
5	Schlussfolgerung.....	14
6	Anmerkung	15
	Literatur	15

1 Einleitung

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) weist den Aufwand an Energie aus, der in das ökonomische Gut einfließt. Die Berechnung ist in der VDI-Richtlinie 4600 „Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Berechnungsmethoden“ geregelt.

Definition des kumulierten Energieaufwandes nach VDI-Richtlinie 4600 (VDI 2012): „... die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann.“

Mit dem kumulierten Energieaufwand können selbst bei komplexen Zusammenhängen Energieeinsparpotenziale erkannt werden. Der KEA ermöglicht die energetische Beurteilung und den Vergleich von Produkten und Dienstleistungen. Zudem liefert er eine erste Einschätzung über die Emissionen, die energetisch verursacht werden. Damit ist er ein wichtiger Indikator für nachhaltiges Ressourcenmanagement.

Dieser Artikel stellt am Beispiel von Brotweizen vor, wie das KTBL den kumulierten Energieaufwand berechnet und welche Daten das KTBL anbietet.

2 Kalkulationsgrundlagen

2.1 Berechnung

Bei der Berechnung des KEA wird jedem Betriebsmittel oder Betriebsstoff ein spezifischer kumulierter Energieaufwand in Megajoule (MJ) je Kilogramm (kg) oder Kubikmeter (m³) zugewiesen. Der Gesamtenergieaufwand in landwirtschaftlichen Produktionsverfahren ergibt sich aus dem spezifischen kumulierten Energieaufwand je Einheit und der eingesetzten Menge je Produktionseinheit. Bei landwirtschaftlichen Maschinen, technischen Anlagen und Gebäuden wird der kumulierte Energieaufwand je Nutzungseinheit berechnet, indem der gesamte Energieaufwand auf das technische Nutzungspotenzial in Nutzungseinheiten umgelegt wird – ein Traktor mit einem KEA von 80.000 MJ hat bei 10.000 Nutzungsstunden also einen KEA von 8 MJ/h. Aus der Gesamtsumme der kumulierten Energieaufwendungen aus Betriebsmitteln, Betriebsstoffen und Gebrauchsgütern wird der Aufwand je Hektar bzw. je Tonne Erntegut berechnet.

2.2 Datenquelle

Die in der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft“ verwendeten Kennzahlen zu den spezifischen kumulierten Energieaufwendungen stammen aus der der EcoInvent Datenbank (Weidema et al. 2013). Dort wird der kumulierte Energieaufwand aus 8 unterschiedlichen Primärenergiequellen mit unterschiedlichen Anteilen aufsummiert geführt (z. B. fossile Energie, nukleare Energie oder regenerative Wind- oder Solarenergie).

2.3 Spezifikationen der Produktionsverfahren

Bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwandes werden in der Web-Anwendung „Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau“ des KTBL u. a. folgende Spezifikationen berücksichtigt:

- Anbausystem (z. B. Direktsaat, wendend, nicht wendend, ökologisch wendend mit Gülle)
- Schlaggrößen, Schlaglängen und Feld-Feld-Entfernung (Tab. 1)
- Ertragsniveau konventionell/integriert (niedrig: 5,92 t/ha; mittel: 7,89 t/ha; hoch: 9,86 t/ha) und ökologisch (niedrig: 2,96 t/ha; mittel: 3,94 t/ha; hoch: 6,90 t/ha)
- Bodenbearbeitungswiderstände (leichter, mittlerer, schwerer Boden)
- Mechanisierung (45 bis 230 kW)
- Hof-Feld-Entfernung (1 bis 30 km)

Tab. 1: Den Berechnungen zugrunde liegende Schlagmaße und Feld-Feld-Entfernungen

Merkmal	Einheit	Schlaggröße in ha						
		1	2	5	10	20	40	80
Schlaglänge	m	141	200	316	447	632	895	1.265
Entfernung Feld-Feld	km	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Für die Berechnungen der Arbeitsvorgänge werden darüber hinaus folgende Annahmen getroffen:

- Einsatz von Traktoren mit Lastschaltgetriebe
- durchschnittlich leistungsfähige, geübte Bedienungsperson
- Feldwege und Straßen mit guten bis sehr guten Traktionsverhältnissen
- Fahrgeschwindigkeit für Wegezeit: wegstreckenabhängige Fahrgeschwindigkeit mit Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h für einen Traktor mit Arbeitsgerät (Ausnahme: Aufsattelpflug 25 km/h), von 60 km/h für einen Lastkraftwagen und von 20 km/h (40 km/h) für selbstfahrende Arbeitsmaschinen, bei Transportarbeiten eine Geschwindigkeitsdifferenz von 3 km/h zwischen beladenen und leeren Fahrzeugen
- Die Arbeitsgeschwindigkeit wird ggf. bei Erreichen der Kapazitätsgrenze (z. B. maximaler Durchsatz) reduziert, um diese Grenze einzuhalten.
- Transportketten sowie Ein- und Auslagerungsketten werden so ausgelegt, dass die Ernte- oder Ausbringmaschine nicht warten muss (Höchstgeschwindigkeiten: Traktor, Anhänger (Transportanhänger, Ladewagen usw.) 40 km/h; Frontsitztraktor, Lkw und Lkw-Züge > 40 km/h; selbstfahrende Arbeitsmaschinen 20 km/h oder 40 km/h).

2.4 Teilarbeit

Ein Arbeitsvorgang kann mehrere Teilarbeiten umfassen, z. B. Feldarbeit, Beladen, Transport, Entladen, Einlagern, Trocknen und Lagern. Die einzelnen Teilarbeiten werden in der Datensammlung separat dargestellt. Bei Arbeitsverfahren mit mehreren Teilarbeiten bestimmt immer die Teilarbeit „Feldarbeit“ den Zeitbedarf des Gesamtverfahrens. Die Teilarbeiten werden durch die Arbeitsbreite, die Ausbring- oder Erntemenge und den Traktor oder die Antriebsmaschine definiert. Der Treibstoffbedarf wird teilzeitspezifisch auf Basis des Leistungsbedarfs und des Zeitbedarfs (Arbeit im Feld, Wegstrecken usw.) sowie der Motorbelastung in der jeweiligen Teilzeit berechnet.

3 Berechneter Energieaufwand für Brotweizen

In der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft“ werden die kumulierten Energieaufwände für die Betriebsmittel in der Tabelle „Leistungen und Direktkosten“ je Hektar ausgewiesen (Tab. 2). Der kumulierte Energieaufwand für die eingesetzten Maschinen und Betriebsstoffe ist in der Tabelle „Arbeiterledigung“ ebenfalls je Hektar aufgeführt (Tab. 3). In der Tabelle „Stückkosten, Energiebedarf“ wird der gesamte Energieaufwand auf die Mengeneinheit des produzierten Hauptprodukts bezogen (Tab. 4).

Tab. 2: Kumulierter Energieaufwand der Betriebsmittel (KTBL 2018)

Stoffe	Anbausystem ¹⁾			
	nicht wendend	wendend	Direktsaat	ökologisch, wendend mit Gülle
KEA in MJ/ha				
Z-Saatgut	2.815	2.815	2.815	5.875
Nachbau-Saatgut	300	300	300	0
Kalkammonsalpeter	13.666	13.666	13.666	0
Mineraldünger (Phosphor 18 %, Kali 10 %)	2.251	2.251	2.251	0
Kalk	566	566	566	566
Gülle	0	0	0	0 ²⁾
Herbizide	207	207	413	0
Fungizide	310	310	454	0
Insektizide	207	207	207	0
Wachstumsregler	207	207	207	0
Wasser	0	0	0	0
Summe	20.528	20.528	20.879	6.442

¹⁾ Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden.

²⁾ Im Beispiel wird der kumulierte Energieaufwand der tierischen Nebenprodukte, also dem Wirtschaftsdünger, dem tierischen Hauptprodukt zugerechnet.

Tab. 3: Dieselbedarf und kumulierter Energieaufwand der Arbeitserledigung¹⁾ (KTBL 2018)

Anbausystem	Einheit	Mechanisierung in kW											
		67				102				200			
		Schlaggröße in ha				Schlaggröße in ha				Schlaggröße in ha			
		1	2	5	20	1	2	5	20	1	2	5	20
Nicht wendend													
Dieselbedarf	l/ha	89	82	76	73	92	82	75	71	120	99	85	75
KEA	MJ/ha	8.495	7.962	7.588	7.356	8.679	8.012	7.514	7.259	10.367	8.969	7.997	7.377
Wendend													
Dieselbedarf	l/ha	95	88	82	78	97	86	79	75	120	99	85	77
KEA	MJ/ha	8.868	8.329	7.923	7.687	9.024	8.304	7.793	7.510	10.546	9.141	8.202	7.617
Direktsaat													
Dieselbedarf	l/ha	43	38	35	33	50	43	38	36	71	55	44	38
KEA	MJ/ha	5.995	5.636	5.376	5.235	6.343	5.847	5.515	5.344	7.572	6.509	5.773	5.346
Ökologisch²⁾													
Dieselbedarf	l/ha	92	85	80	77	94	85	78	74	109	92	81	74
KEA	MJ/ha	7.271	6.750	6.366	6.141	7.438	6.762	6.268	5.984	8.486	7.301	6.574	6.113

1) Hof-Feld-Entfernung 2 km, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden.

2) Wendend, mit Gülle.

Tab. 4: Kumulierter Energieaufwand auf die Produktmenge bezogen (KTBL 2019, verändert)

Anbausystem	Mechanisierung in kW												
	67				102				200				
	Schlaggröße in ha				Schlaggröße in ha				Schlaggröße in ha				
	1	2	5	20	1	2	5	20	1	2	5	20	
	kumulierter Energieaufwand MJ/t				kumulierter Energieaufwand MJ/t				kumulierter Energieaufwand MJ/t				
Hohes Ertragsniveau, mittlerer Boden¹⁾													
Wendend ³⁾	3.642	3.587	3.544	3.519	3.657	3.583	3.530	3.501	3.812	3.668	3.572	3.511	
Nicht wendend ²⁾	3.604	3.550	3.510	3.486	3.622	3.553	3.502	3.475	3.794	3.651	3.551	3.486	
Direktsaat	3.351	3.314	3.286	3.271	3.385	3.333	3.299	3.281	3.510	3.401	3.326	3.281	
Ökologisch ²⁾	2.224	2.150	2.096	2.064	2.246	2.144	2.078	2.039	2.397	2.231	2.129	2.064	
Mittleres Ertragsniveau, mittlerer Boden¹⁾													
Wendend ³⁾	3.726	3.657	3.606	3.576	3.746	3.654	3.589	3.554	3.938	3.760	3.641	3.567	
Nicht wendend ²⁾	3.678	3.611	3.564	3.534	3.702	3.617	3.554	3.522	3.916	3.739	3.615	3.537	
Direktsaat	3.406	3.361	3.328	3.310	3.450	3.387	3.345	3.324	3.606	3.471	3.378	3.324	
Ökologisch ²⁾	3.480	3.348	3.251	3.193	3.523	3.351	3.226	3.154	3.789	3.488	3.303	3.186	
Niedriges Ertragsniveau, mittlerer Boden¹⁾													
Wendend ³⁾	4.076	3.982	3.914	3.874	4.102	3.981	3.892	3.845	4.364	4.128	3.966	3.868	
Nichtwendend ²⁾	4.013	3.921	3.858	3.818	4.043	3.932	3.845	3.803	4.334	4.099	3.932	3.829	
Direktsaat	3.663	3.601	3.557	3.533	3.703	3.621	3.563	3.536	3.921	3.742	3.615	3.543	
Ökologisch ²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

1) Ebenes bis gering geneigtes Gelände ohne Erschwernisse in der Bewirtschaftung. Hof-Feld-Entfernung 2 km.

2) Kreiselegensaat.

3) Gezogene Sattbettbereitung, Saat.

Ein Datenbankauszug liefert für Anbausysteme der kostenfreien Web-Anwendung „Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau“ folgende Ergebnisse (Tab. 5).

Tab. 5: Datenbankauszug zum kumulierten Energieaufwand von Winterweizen, Brotweizen, mittlerer Ertrag, mittlerer Boden (konventionell/integriert 7,89 t/ha, ökologisch 3,94 t/ha), Mechanisierung 67 kW, 2 km Hof-Feld-Entfernung

Anbausystem	Schlaggröße	Diesel	KEA Arbeitserledigung		KEA Betriebsmittel	KEA gesamt	
	ha		l/ha	Maschine		Betriebsstoff	MJ/ha
Ökologisch							
Wendend, Gülle	1	92	1.842	5.429	6.442	13.712	3.480
	2	85	1.677	5.073	6.442	13.192	3.348
	5	80	1.560	4.806	6.442	12.807	3.251
	20	77	1.492	4.649	6.442	12.582	3.193
Nicht wendend, Gülle	1	90	1.786	5.288	6.442	13.515	3.430
	2	82	1.626	4.914	6.442	12.982	3.295
	5	77	1.515	4.662	6.442	12.618	3.203
	20	74	1.449	4.500	6.442	12.391	3.145
Wendend, Gründüngung	1	95	1.931	5.536	6.985	14.451	3.668
	2	87	1.753	5.154	6.985	13.892	3.526
	5	81	1.625	4.862	6.985	13.472	3.419
	20	78	1.549	4.707	6.985	13.241	3.361
Nicht wendend, Gründüngung	1	92	1.874	5.395	6.985	14.254	3.618
	2	84	1.702	4.995	6.985	13.682	3.473
	5	78	1.580	4.718	6.985	13.283	3.371
	20	75	1.506	4.558	6.985	13.049	3.312
Wendend, Festmist	1	94	1.847	5.487	6.442	13.775	3.496
	2	86	1.680	5.123	6.442	13.245	3.362
	5	81	1.561	4.851	6.442	12.854	3.262
	20	77	1.490	4.690	6.442	12.622	3.204
Nicht wendend, Festmist	1	91	1.791	5.346	6.442	13.578	3.446
	2	83	1.629	4.964	6.442	13.035	3.308
	5	78	1.516	4.707	6.442	12.664	3.214
	20	74	1.448	4.541	6.442	12.430	3.155
Dammkultur, Gründüngung	1	82	1.998	4.923	6.985	13.906	3.529
	2	73	1.808	4.496	6.985	13.289	3.373
	5	67	1.674	4.204	6.985	12.863	3.265
	20	64	1.603	4.038	6.985	12.626	3.205
Dammkultur, Gülle	1	74	1.932	4.520	6.442	12.894	3.273
	2	67	1.764	4.157	6.442	12.363	3.138
	5	61	1.648	3.907	6.442	11.996	3.045
	20	59	1.586	3.764	6.442	11.792	2.993
Dammkultur, Festmist	1	75	1.938	4.578	6.442	12.957	3.289
	2	68	1.768	4.207	6.442	12.417	3.151
	5	62	1.649	3.952	6.442	12.042	3.056
	20	59	1.585	3.805	6.442	11.831	3.003

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Anbausystem	Schlaggröße	Diesel	KEA Arbeitserledigung		KEA Betriebsmittel	KEA gesamt	
	ha	l/ha	Maschine	Betriebsstoff		MJ/ha	MJ/t
Weite Reihe, ohne Untersaat, Gülle	1	97	1.970	5.666	3.830	11.466	2.910
	2	90	1.798	5.303	3.830	10.932	2.775
	5	84	1.675	5.016	3.830	10.521	2.670
	20	81	1.603	4.852	3.830	10.285	2.610
Weite Reihe, ohne Untersaat, Festmist	1	98	1.975	5.724	3.830	11.529	2.926
	2	91	1.801	5.353	3.830	10.985	2.788
	5	85	1.676	5.061	3.830	10.568	2.682
	20	82	1.601	4.893	3.830	10.325	2.620
Weite Reihe, ohne Untersaat, Gründüngung	1	99	2.059	5.773	4.374	12.205	3.098
	2	92	1.874	5.384	4.374	11.632	2.952
	5	85	1.740	5.072	4.374	11.186	2.839
	20	82	1.660	4.910	4.374	10.944	2.778
Weite Reihe, mit Untersaat, Gülle	1	98	1.941	5.724	3.830	11.495	2.917
	2	91	1.770	5.359	3.830	10.960	2.782
	5	85	1.649	5.070	3.830	10.549	2.677
	20	82	1.577	4.906	3.830	10.314	2.618
Weite Reihe, mit Untersaat, Festmist	1	100	1.946	5.782	3.830	11.558	2.934
	2	92	1.774	5.409	3.830	11.013	2.795
	5	86	1.650	5.115	3.830	10.595	2.689
	20	83	1.576	4.947	3.830	10.353	2.628
Mit Untersaat, zweijährig, Gemüseproduktion	1	122	2.266	6.856	3.868	12.990	3.297
	2	114	2.087	6.479	3.868	12.433	3.156
	5	108	1.958	6.193	3.868	12.020	3.051
	20	105	1.886	6.064	3.868	11.817	2.999
Weite Reihe, mit Untersaat, Gründüngung	1	101	2.029	5.831	4.374	12.234	3.105
	2	93	1.846	5.440	4.374	11.660	2.960
	5	86	1.714	5.126	4.374	11.213	2.846
	20	83	1.634	4.964	4.374	10.972	2.785
Wendend, ohne Düngung	1	77	1.643	4.651	6.442	12.735	3.232
	2	70	1.490	4.339	6.442	12.271	3.115
	5	66	1.382	4.107	6.442	11.931	3.028
	20	63	1.317	3.982	6.442	11.740	2.980

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Anbausystem	Schlaggröße	Diesel	KEA Arbeitserledigung		KEA Betriebsmittel	KEA gesamt	
	ha	l/ha	Maschine	Betriebsstoff		MJ/ha	MJ/t
Wendend, Festmist, Strohbergung	1	101	2.181	5.833	6.896	14.910	3.784
	2	93	2.014	5.464	6.896	14.374	3.648
	5	88	1.895	5.193	6.896	13.984	3.549
	20	84	1.826	5.030	6.896	13.752	3.490
Nicht wendend, Festmist, Strohbergung	1	95	2.160	5.536	6.896	14.592	3.703
	2	87	2.000	5.174	6.896	14.070	3.571
	5	82	1.887	4.909	6.896	13.692	3.475
	20	79	1.823	4.751	6.896	13.469	3.419
Wendend, Strohverkauf	1	93	2.059	5.478	6.896	14.432	3.663
	2	86	1.895	5.131	6.896	13.922	3.534
	5	81	1.779	4.874	6.896	13.548	3.439
	20	78	1.710	4.721	6.896	13.326	3.382
Wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat	1	95	1.876	5.571	3.681	11.128	2.824
	2	88	1.706	5.200	3.681	10.588	2.687
	5	82	1.587	4.925	3.681	10.193	2.587
	20	79	1.517	4.763	3.681	9.961	2.528
Konventionell/integriert							
Wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat	1	95	2.419	6.449	20.528	29.396	3.726
	2	88	2.247	6.082	20.528	28.857	3.657
	5	82	2.126	5.797	20.528	28.451	3.606
	20	78	2.059	5.628	20.528	28.215	3.576
Direktsaat	1	43	2.112	3.883	20.879	26.874	3.406
	2	38	1.975	3.660	20.879	26.515	3.361
	5	35	1.883	3.493	20.879	26.255	3.328
	20	33	1.834	3.401	20.879	26.115	3.310
Hang, wendend, gezogene Saatbettbereitung, Saat	1	99	2.452	6.620	20.528	29.600	3.752
	2	91	2.273	6.228	20.528	29.030	3.679
	5	84	2.149	5.925	20.528	28.602	3.625
	20	81	2.079	5.745	20.528	28.352	3.593
Nicht wendend, Kreisel-eggsaat	1	89	2.329	6.166	20.528	29.023	3.678
	2	82	2.166	5.796	20.528	28.491	3.611
	5	76	2.054	5.534	20.528	28.116	3.564
	20	73	1.991	5.365	20.528	27.885	3.534
Maximal-Wert						29.600	3.752
Minimal-Wert						9.961	2.528

4 Diskussion der Ergebnisse

Die mineralischen Düngemittel sind bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwandes die maßgebliche Größe. In den konventionellen bzw. integrierten Verfahren der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/19“ sind rund drei Viertel des Energieaufwandes ihnen zuzurechnen.

Der Energieaufwand der Arbeitserledigung wird maßgeblich vom Dieselbedarf bestimmt. Je nach Rahmenbedingungen liegt er bei den vier Planungsbeispielen der Datensammlung zwischen 33 bis 95 Liter je Hektar.

Für den konventionellen bzw. integrierten Anbau von Brotweizen, wendend mit gezogener Sattbettbereitung und Saat sind die Einflüsse der Schlaggröße, des Ertragsniveaus, des Bodens, der Mechanisierung und der Hof-Feld-Entfernung auf den kumulierten Energieaufwand je Hektar in den Abbildungen 1 bis 5 zu finden. Die Diagramme zeigen, dass vor allem das Ertragsniveau den kumulierten Energieaufwand beeinflusst. Dies liegt ursächlich an der erforderlichen Bewirtschaftungsintensität, d. h. vor allem an dem Mineraldüngerbedarf.

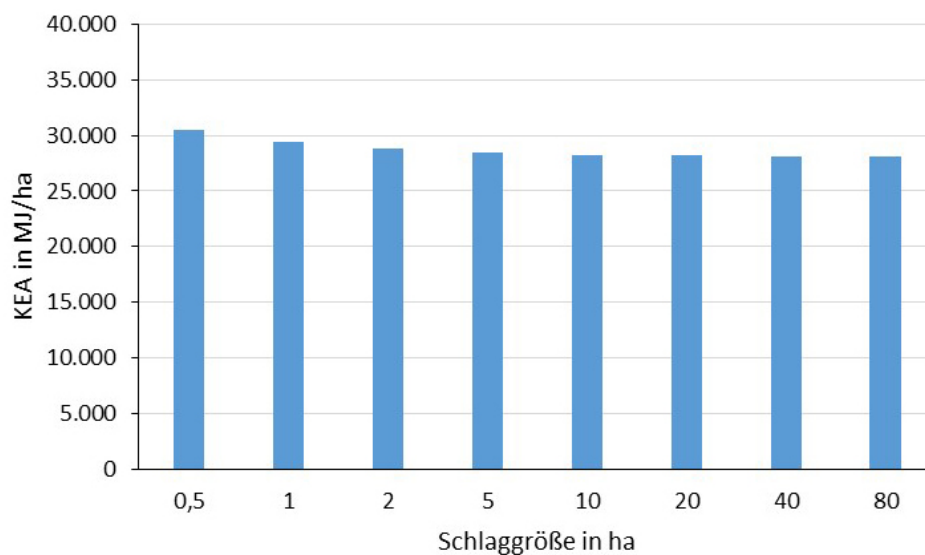


Abb. 1: Einfluss der Schlaggröße auf den KEA (Annahmen: wendend, mittleres Ertragsniveau (7,89 t/ha), mittlerer Boden, 67 kW, 2 km Hof-Feld-Entfernung)

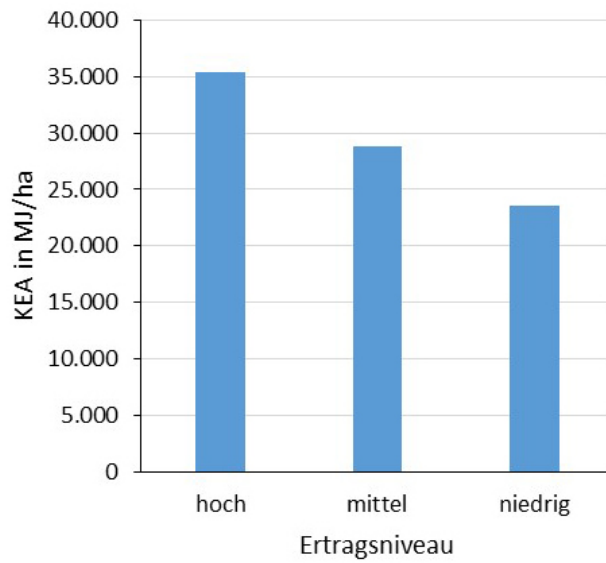


Abb. 2: Einfluss des Ertragsniveaus auf den KEA (Annahmen: wendend, 2 ha Schlaggröße, mittlerer Boden, Mechanisierung 67 kW, 2 km Hof-Feld-Entfernung)

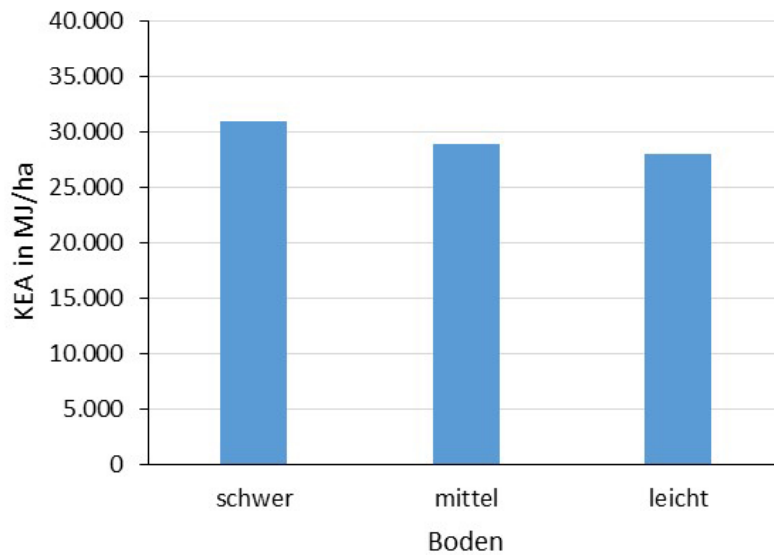


Abb. 3: Einfluss des Bodens auf den KEA (Annahmen: wendend, 2 ha Schlaggröße, mittleres Ertragsniveau (7,89 t/ha), Mechanisierung 67 kW, 2 km Hof-Feld-Entfernung)

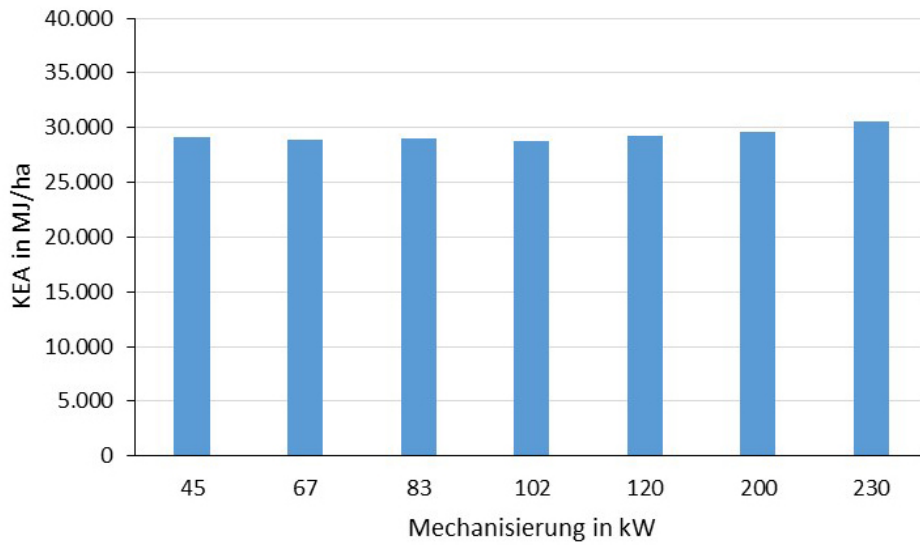


Abb. 4: Einfluss der Mechanisierung auf den KEA (Annahmen: wendend, Schlaggröße 2 ha, mittleres Ertragsniveau (7,89 t/ha), mittlerer Boden, 2 km Hof-Feld-Entfernung)

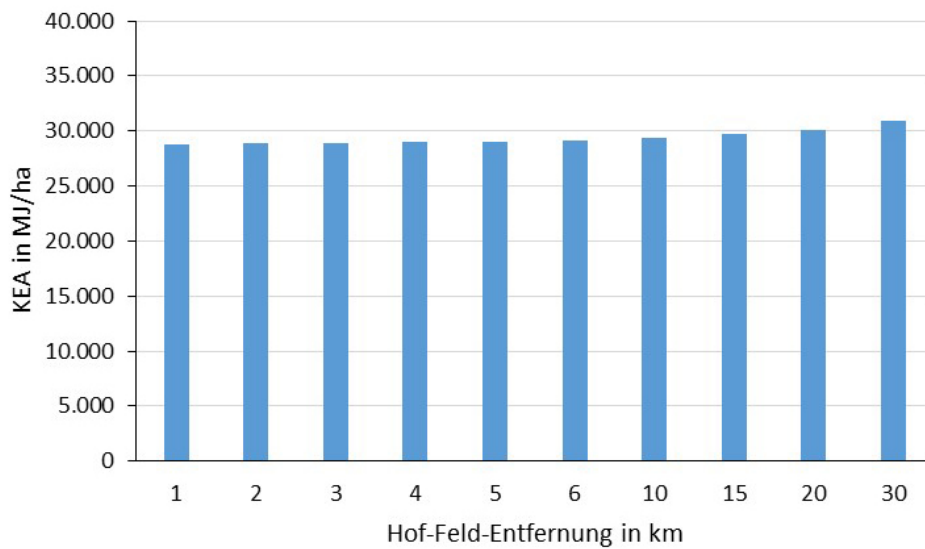


Abb. 5: Einfluss der Hof-Feld-Entfernung auf den KEA (Annahmen: wendend, Schlaggröße 2 ha, mittleres Ertragsniveau (7,89 t/ha), mittlerer Boden, Mechanisierung 67 kW)

Mit zunehmender Schlaggröße sinkt der flächenbezogene KEA, da der Anteil der Vorgewende abnimmt. Der Effekt ist vor allem dann vorhanden, wenn die Ladevolumen und Arbeitsbreiten auf die Ausbringmengen bzw. Erträge und die Schlaglängen abgestimmt sind, sodass möglichst wenig Leerfahrten und Be- oder Entladevorgänge auftreten.

Mit zunehmender Schwere des Bodens und zunehmender Hof-Feld-Entfernung steigt der kumulierte Energieaufwand aufgrund der längeren Maschinenlaufzeiten.

Erhöhen Über- bzw. Untermechanisierung den Energieaufwand? Dazu lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen treffen. Im oben aufgeführten Beispiel mit 102 kW liegt die Mechanisierung mit dem niedrigsten Wert im mittleren Bereich, die Unterschiede sind jedoch gering.

Neben dem Ertragsniveau hat das Anbausystem einen großen Einfluss auf den kumulierten Energieaufwand (Abb. 6). Acht Beispiele aus der Web-Anwendung „Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau“ (KTBL 2019) veranschaulichen die Schwankungsbreite und den im Vergleich zum konventionellen bzw. integrierten Brotweizenanbau geringen Aufwand an kumulierter Energie. Dabei wirkt sich vor allem der Verzicht auf mineralische Stickstoffdünger positiv aus. Wirtschaftsdünger werden bei der Planung von Produktionsverfahren im KTBL mit einem KEA-Wert von null angesetzt. Alle in der Tierhaltung anfallenden Aufwände werden also dem Hauptprodukt angerechnet, das schließt die Aufwände für die Lagerung und Aufbereitung der Wirtschaftsdünger mit ein. Aufgrund dieser systematischen Grenze können Anbausystem mit Wirtschaftsdünger nur begingt mit denen ohne verglichen werden.

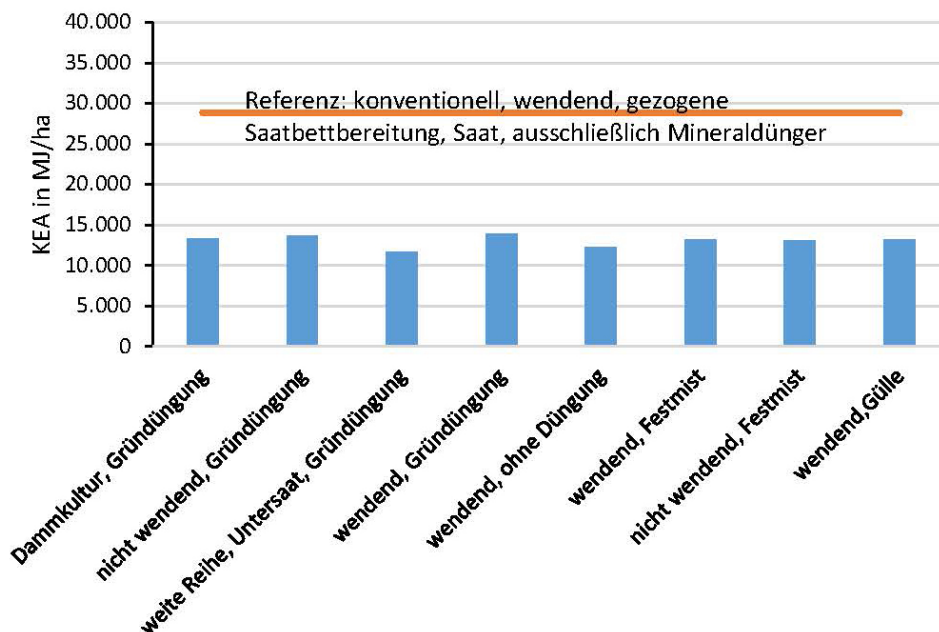


Abb. 6: Einfluss des Anbausystems auf den KEA (Annahmen: ökologisch, Schlaggröße 2 ha, mittleres Ertragsniveau (3,94 t/ha), mittlerer Boden, Mechanisierung 67 kW, 2 km Hof-Feld-Entfernung)

Je nach Fragestellung ist die Fläche eine ungeeignete Größe für die Darstellung und Bewertung des kumulierten Energieaufwandes. In vielen Fällen ist die Produktmenge die aussagefähigere Bezugsgröße, wie Abbildung 7 zeigt. Grund dafür ist der große Einfluss des Ertragsniveaus.

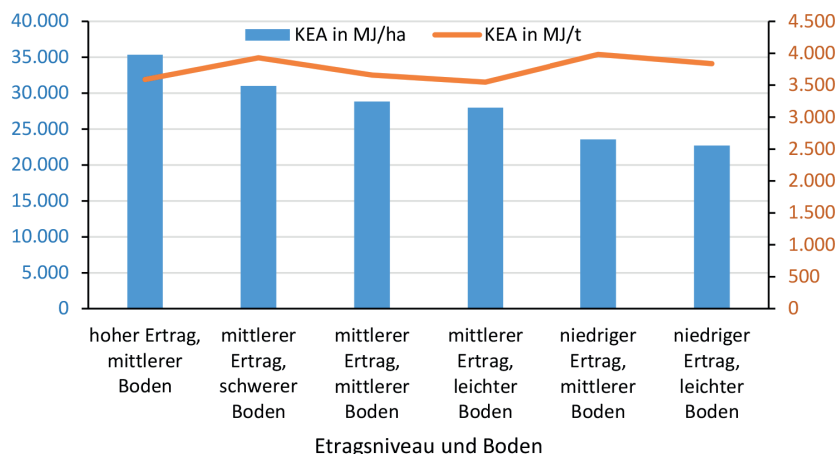


Abb. 7: Einfluss des Ertragsniveaus – hoch (9,86 t/ha), mittel (7,89 t/ha), niedrig (5,92 t/ha) und der Bodenverhältnisse auf den KEA (Annahmen: wendend, 2 ha Schlaggröße, Mechanisierung 67 kW, 2 km Hof-Feld-Entfernung)

5 Schlussfolgerung

Die in der Datensammlung „Betriebsplanung Landwirtschaft“ aufgeführten Planungsbeispiele haben einen kumulierten Energieaufwand zwischen 3.300 und 4.000 MJ je Tonne Brotweizen. Betrachtet man alle Varianten im Datenbankauszug, liegt der Aufwand zwischen 2.500 und 3.850 MJ je Tonne Brotweizen.

Mineralische Düngemittel und Diesel bestimmen mit ihren eigenen hohen KEA-Werten von rund 20 MJ je kg bzw. 50 MJ je Liter im Wesentlichen den kumulierten Energieaufwand.

Die Vorzüglichkeit der Anbauverfahren wird von den Systemgrenzen und Annahmen mitbestimmt. Hier ist individuell zu prüfen, ob anstelle der Weizenkultur nicht z. B. der gesamte Betrieb bewertet werden sollte. Würde bei dem ökologischen Beispiel der kumulierte Energieaufwand auf Haupt- und Nebenprodukt aufgeteilt, ergäbe sich eine Verschiebung zu Lasten des Bioweizens. Zudem birgt die Betrachtung einer einzelnen Kultur die Gefahr, dass die unberücksichtigten oder einer Kultur einseitig zugeschriebenen positiven wie auch negativen Fruchtfolgeeffekte die Ergebnisse verzerren. Die Systemgrenze zur Tierhaltung entscheidet mit darüber, inwieweit Verfahren mit oder ohne Wirtschaftsdünger miteinander verglichen werden können.

Für die Herleitung von Kohlendioxidemissionen liefert der kumulierte Energieaufwand nur Näherungswerte, da die Emissionswerte je nach Energiequelle stark schwanken.

6 Anmerkung

Neben dem kumulierten Energieaufwand bietet das KTBL weitere Energiewerte. Dem Aufwand steht je dem Kilogramm Brotweizen (88 % Trockenmasse) für Milchkühe eine Futterenergie von 8,51 MJ NEL bzw. für Schweine von 15,67 MJ ME gegenüber (KTBL 2018). Für die Verbrennung von Brotweizen kann nach Hartmann (2016) mit einem Heizwert von 17,00 MJ je kg gerechnet werden, der Brennwert beträgt 18,40 MJ. Bei der Vergärung von Weizenkörnern in Biogasanlagen ist mit einem Methanertrag von 11,53 MJ je kg Frischmasse zu rechnen (KTBL 2012). Bei Erträgen von 4 bis 12 t liefert die Verwertung als Bioethanol 48 bis 80 GJ je Hektar (KTBL 2012).

Literatur

Hartmann, H. (2016): Grundlagen der thermo-chemischen Umwandlung biogener Festbrennstoffe. In: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, S. 580–645

KTBL (2019): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau. <https://www.ktbl.de/webanwendungen/leistungs-kostenrechnung-pflanzenbau/>, Zugriff am 13.06.2019

KTBL (2018): Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/19. Darmstadt, KTBL, S. 260, 267

KTBL (2012): Energiepflanzen. KTBL-Datensammlung, Darmstadt, KTBL, S. 46–47

VDI (2012): VDI 4600 – Kumulierter Energieaufwand (KEA). <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4600-kumulierter-energieaufwand-kea-begriffe-berechnungsmethoden>, Zugriff am 18.06.2019

Weidema, B. P.; Bauer, C.; Hischer, R.; Mutel, C.; Nemecek, T.; Reinhard, J.; Vadenbo, C. O.; Wernet, G. (2013): The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. www.ecoinvent.org, Zugriff am 19.06.2019