



Betriebswirtschaftliche Überlegungen zur Fruchtfolgegestaltung für NAWARO- Biogasanlagen

Bernhard Stürmer

Bernhard Stürmer



Projektassistent
Institut für Nachhaltige
Wirtschaftsentwicklung
PD DI Dr. Erwin Schmid
www.wiso.boku.ac.at/2799.html
bernhard.stuermer@boku.ac.at

Junior Fellow
Umwelt, Landwirtschaft und
Energie
DI Franz Sinabell
www.wifo.ac.at

Projekt: Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik für Biogasanlagen



BOKU, Institut für Landtechnik

Hopfner-Sixt, K., Bauer, A., Amon, Th.

BLT Wieselburg

Handler, F., Blumauer, E.

ARGE Kompost&Biogas

Ritzmann, A.

BOKU, Institut für Agrar- und Forstökonomie

Stürmer, B., Eder, M.

Übersicht



Rohstoffbeschaffung und -lagerung

Erntekosten

Silosysteme

Einbringtechniken

Gärrestlagerung, -aufbereitung und -ausbringung

Separation

Ausbringung

Szenarien

Gesamtkosten



Kosten für Anbau und Pflege

Kosten Gülleausbringung

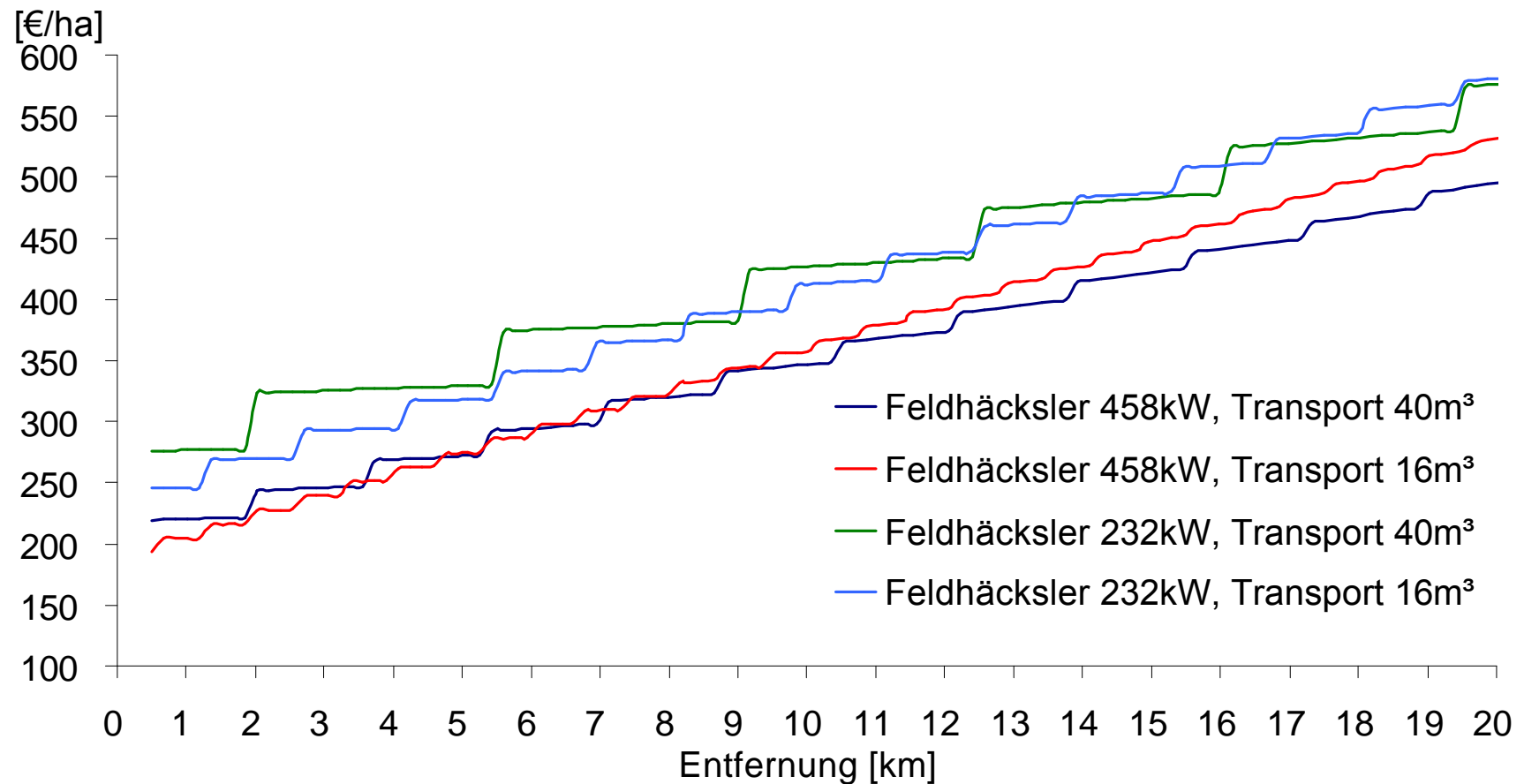
Kosten Ernte (Feldhäcksler, Logistik, Verdichten)

Opportunitätskosten

Maschinenringtarife + Stundensatz Fahrer (exkl. USt)

Tarife von Lohnunternehmern (exkl. USt)

Erntekosten bei der Ernte von Silomais



Regressionsgeraden



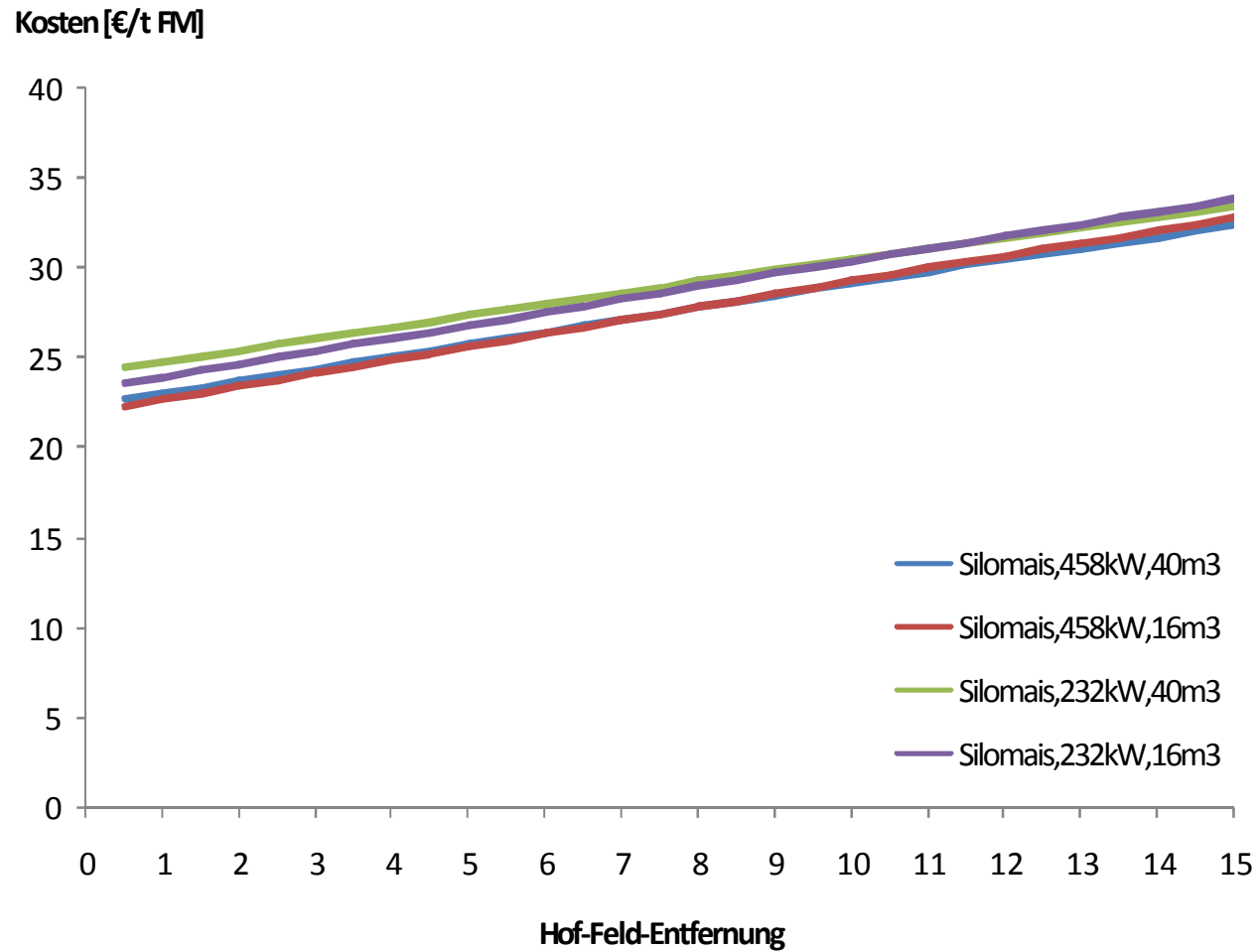
in Abhängigkeit von:

- Kultur
- Feldhäckslerleistung
- Transportvolumen
- Hof-Feld-Entfernung
- Frischmasseertrag
- Trockenmassegehalt

Kultur	FH	TR	n	C	Ckm	CtFM	CTM	R ²	StdFehler
Silomais	458kW	40m3	120	-196,010	19,452	5,549	412,312	0,97	26,57
Silomais	458kW	16m3	120	-174,496	22,065	5,621	263,493	0,97	26,82
Silomais	232kW	40m3	120	-167,870	17,308	6,715	417,335	0,97	22,09
Silomais	232kW	16m3	120	-215,021	21,299	6,455	466,629	0,98	22,71
Sonnenblumen	458kW	40m3	120	-120,201	8,985	4,912	514,179	0,93	23,26
Sonnenblumen	458kW	16m3	120	-176,370	11,934	6,082	487,341	0,92	37,01
Sonnenblumen	232kW	40m3	120	-69,642	8,174	3,956	770,695	0,91	20,60
Sonnenblumen	232kW	16m3	120	-127,533	9,645	4,580	828,169	0,93	20,84
GPSGetreide	458kW	40m3	120	-159,010	9,359	7,843	405,242	0,97	10,70
GPSGetreide	458kW	16m3	120	197,695	11,351	8,539	419,664	0,98	10,38
GPSGetreide	232kW	40m3	120	-173,469	10,792	8,569	431,750	0,97	13,08
GPSGetreide	232kW	16m3	120	-179,236	11,880	7,985	436,630	0,98	10,60
Gruenroggen	458kW	40m3	120	1,862	4,239	4,963	123,493	0,93	8,62
Gruenroggen	458kW	16m3	120	-54,998	5,584	6,261	219,342	0,93	12,11
Gruenroggen	232kW	40m3	120	-4,815	4,414	5,703	154,317	0,94	9,10
Gruenroggen	232kW	16m3	120	-45,657	5,065	6,172	231,371	0,92	11,64
Ackerfutter	458kW	40m3	120	10,643	3,450	3,085	190,070	0,84	10,81
Ackerfutter	458kW	16m3	120	-13,113	3,928	3,798	224,164	0,88	10,74
Ackerfutter	232kW	40m3	120	18,513	3,339	2,732	227,710	0,74	14,27
Ackerfutter	232kW	16m3	120	-8,473	3,905	3,750	237,653	0,86	12,21
Hirse	458kW	40m3	120	-328,389	14,898	6,552	841,125	0,99	11,38
Hirse	458kW	16m3	120	-377,035	17,719	6,238	1014,517	0,99	12,43
Hirse	232kW	40m3	120	-317,032	15,277	7,098	927,918	0,97	18,41
Hirse	232kW	16m3	120	-374,898	17,696	6,704	1100,045	0,99	14,88
Zuckerruebe	300kW	38.7m3	120	86,843	4,454	8,075		0,83	
Zuckerruebe	300kW	27m3	120	-576,236	19,885	20,049		0,88	
Zuckerruebe	300kW	16m3	120	131,673	15,388	6,829		0,98	
Koernermais	221kW	38.7m3	120	135,238	0,487	10,866		0,90	
Koernermais	221kW	27m3	120	160,785	2,551	9,323		0,90	
Koernermais	221kW	16m3	120	136,699	3,182	9,532		0,96	

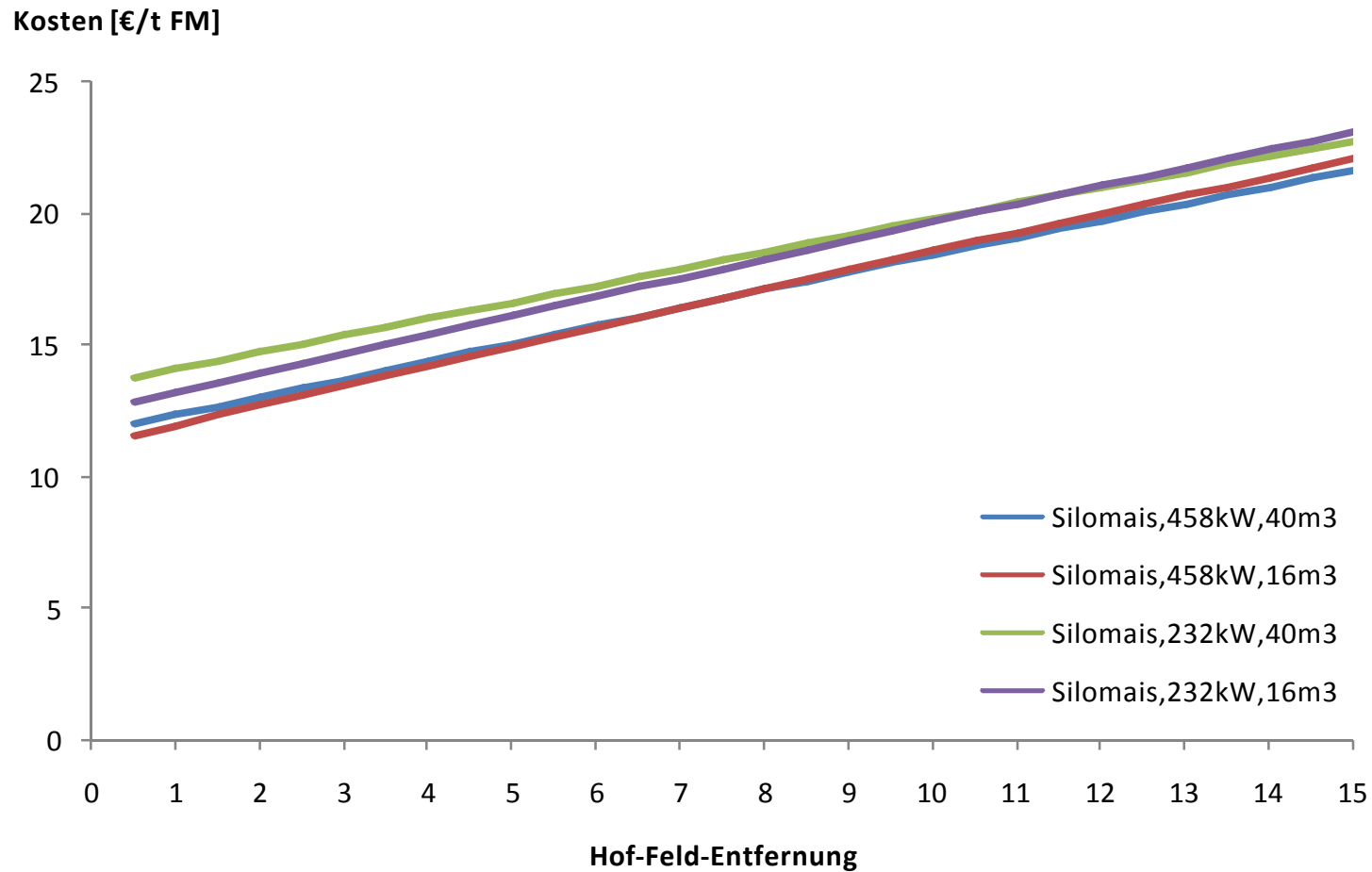
Gesamtkosten Silomais

(46,7 t FM, 30% TM-Gehalt, 500€ Opportunitätskosten)



Gesamtkosten Silomais

(46,7 t FM, 30% TM-Gehalt, 0€ Opportunitätskosten)



Opportunitätskosten Biogasanlage

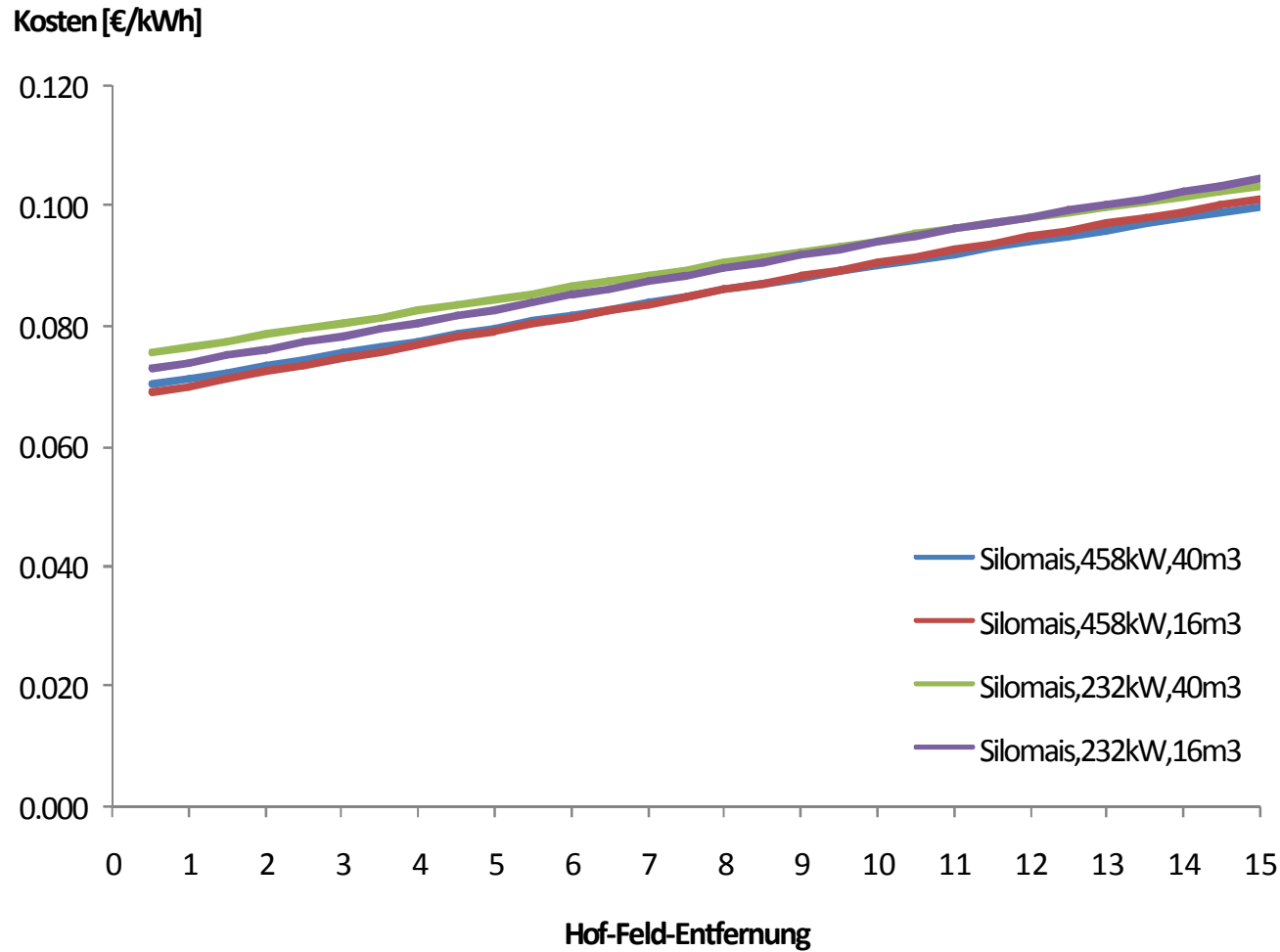


Size	100 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Electricity production in 1000 kWh	700	1.750	3.500
Substrate amount (t year ⁻¹)	2.292	5.368	10.246
Substrate production area (ha year ⁻¹)	51	120	228
Electrical efficiency (%)	33,9	36,2	38
Average transport distance (km)	0,8	1,2	1,7
Investment costs (€)	451.522	976.522	1.851.522
Capital costs (€ year ⁻¹)	53.130	116.025	220.710
Substrate costs (€ year ⁻¹)			
Labour costs (€ year ⁻¹)	12.390	23.275	39.550
Other costs (€ year ⁻¹)	10.000	25.000	50.000
Total costs without transport (Cents kWh ⁻¹)	10,8	9,4	8,9

Walla und Schneeberger, 2008;
verändert

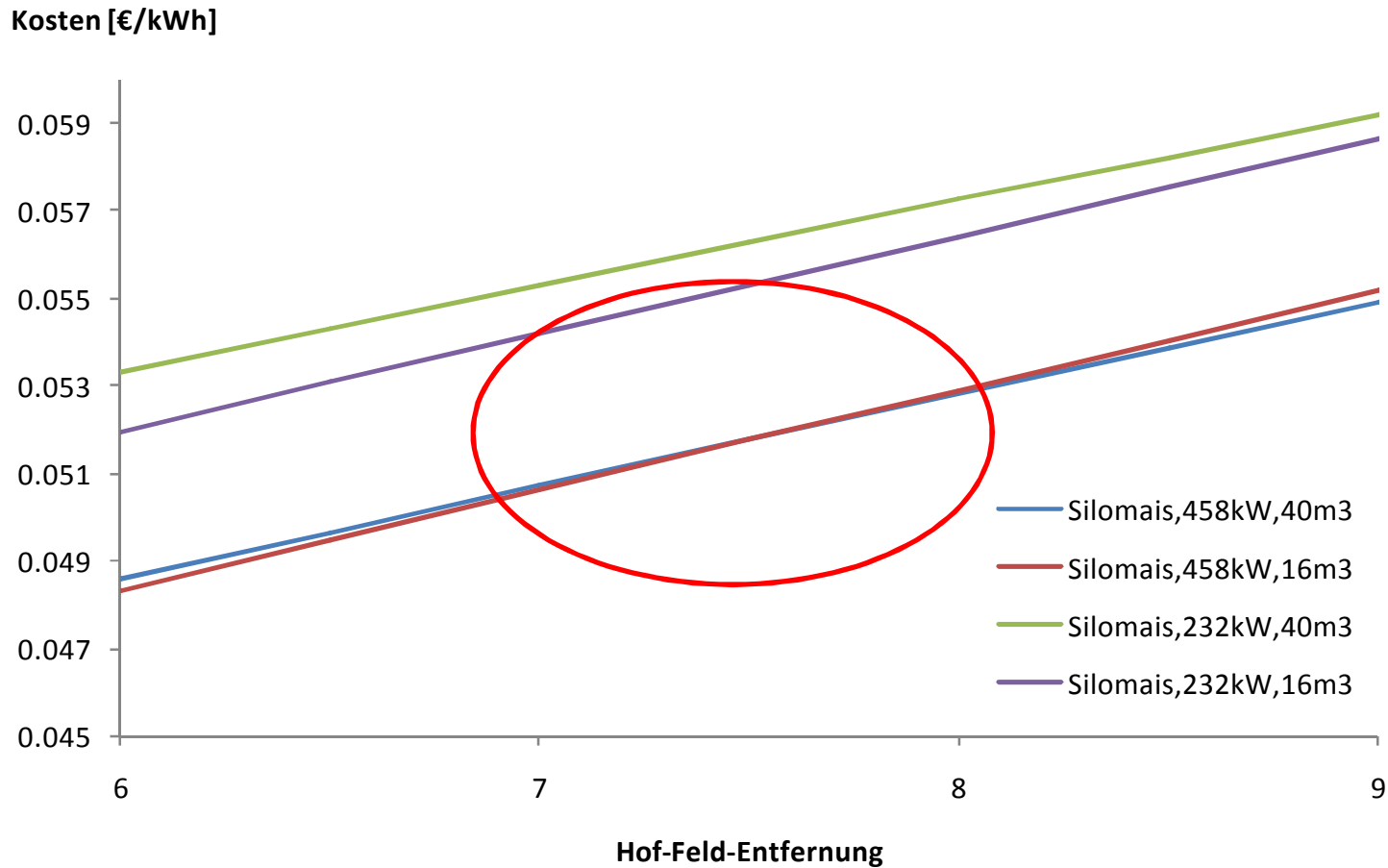
Gesamtkosten Silomais

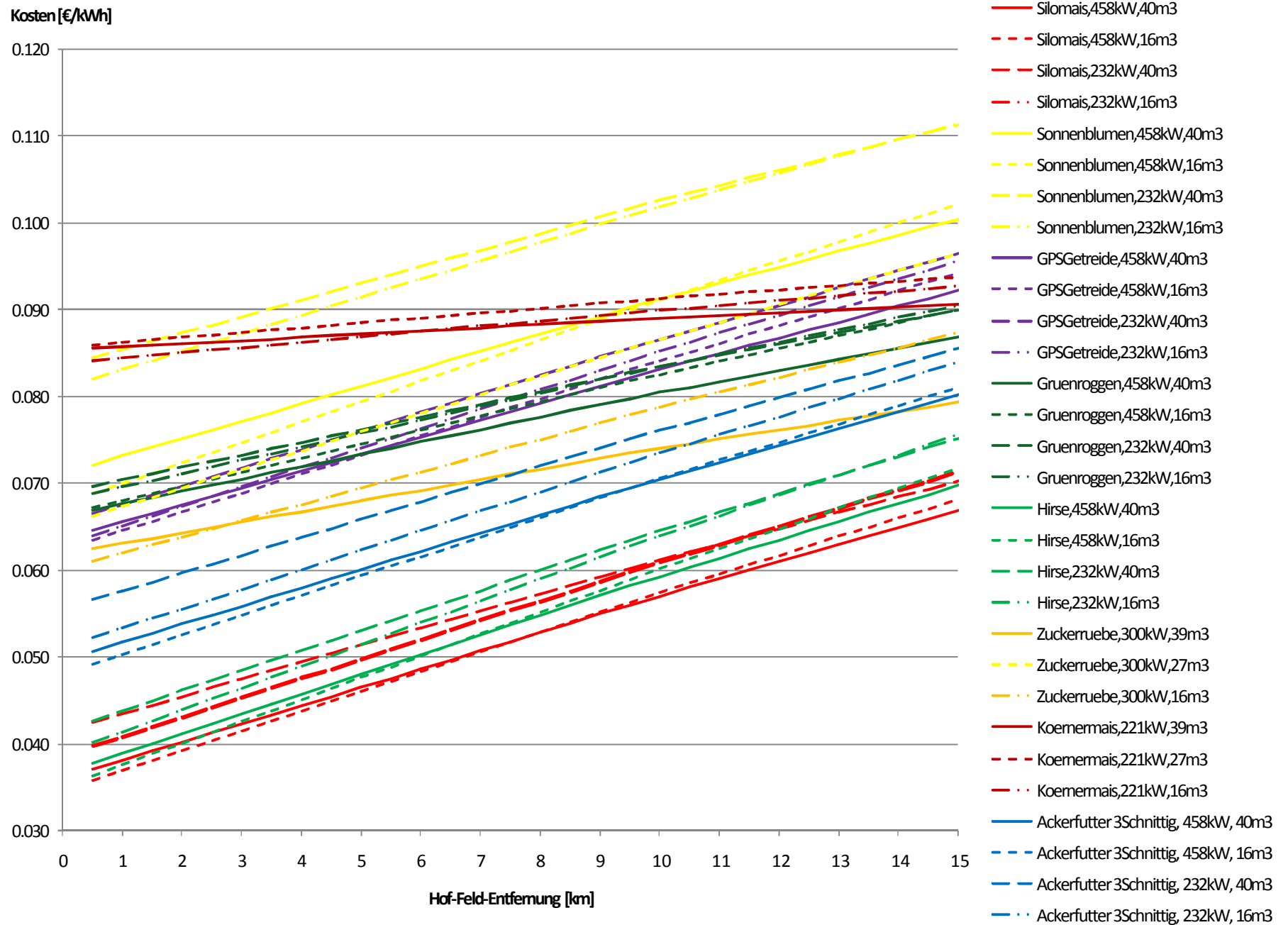
(46,7 t FM, 30% TM-Gehalt, 500€ Opportunitätskosten,
500kW_{el} – $\eta=38\%$)



Gesamtkosten Silomais

(46,7 t FM, 30% TM-Gehalt, 0€ Opportunitätskosten)





Optimale Feldhäcksler- Transporteinheitenkombination in Abhängigkeit der Hof-Feldentfernung



Kultur/Kulturkanbination	Kultur	t FM/ha	TM-Gehalt	Feldhäcksler		Transport	
				klein	groß	klein	groß
Ackerfutter	1.Schnitt	11,9	35%		x	- 6,5	> 6,5
	2.Schnitt	10,0	35%		x	- 9,5	> 9,5
	3.Schnitt	8,5	35%		x	- 11,0	> 11,0
GPS	GPS	33,3	30%	- 2,0	> 2,0	- 2,0	> 2,0
GPS-Hirse	GPS	30,0	25%	- 3,0	> 3,0	- 3,0	> 3,0
	Hirse	40,0	24%		x	- 6,5	> 6,5
GPS-Sonnenblumen	GPS	30,0	25%	- 3,0	> 3,0	- 3,0	> 3,0
	Sonnenblumen	33,0	28%		x	- 8,0	> 8,0
Grünroggen	Grünroggen	21,0	32%		x		x
Grünroggen-Hirse	Grünroggen	16,0	28%		x	- 6,5	> 6,5
	Hirse	40,0	24%		x	- 6,5	> 6,5
Grünroggen-Sonnenblumen	Grünroggen	16,0	28%		x	- 6,5	> 6,5
	Sonnenblumen	33,0	28%		x	- 8,0	> 8,0
Hirse	Hirse	46,2	26%		x	- 5,5	> 5,5
Körnermais	Körnermais	13,8	65%			- 6,0	> 6,0
Silomais	Silomais	46,7	30%		x	- 7,0	> 7,0
Sonnenblumen	Sonnenblumen	30,0	32%		x	- 9,5	> 9,5
Zuckerrübe	Zuckerrübe	60,0	23%			- 8,0	> 8,0

Rangreihung der Kulturen/Kulturkombinationen



Silomais

Hirse

Körnermais

Grünroggen-Hirse

GPS-Hirse

Ackerfutter, 3 Nutzungen

Zuckerrübe

Ackerfutter, 2 Nutzungen

GPS

GPS-Sonnenblumen

Grünroggen-Sonnenblumen

Sonnenblumen

Grünroggen

Räumliche Anordnung der Kulturen zueinander



Getreideganzpflanzensilage-Hirse
Getreideganzpflanzensilage-Sonnenblumen
Grünroggen-Hirse
Silomais
Grünroggen-Sonnenblumen
Hirse
Ackerfutter (3 Nutzungen)
Sonnenblumen
Getreideganzpflanzensilage
Ackerfutter (2 Nutzungen)
Zuckerrübe
Grünroggen
Körnermais

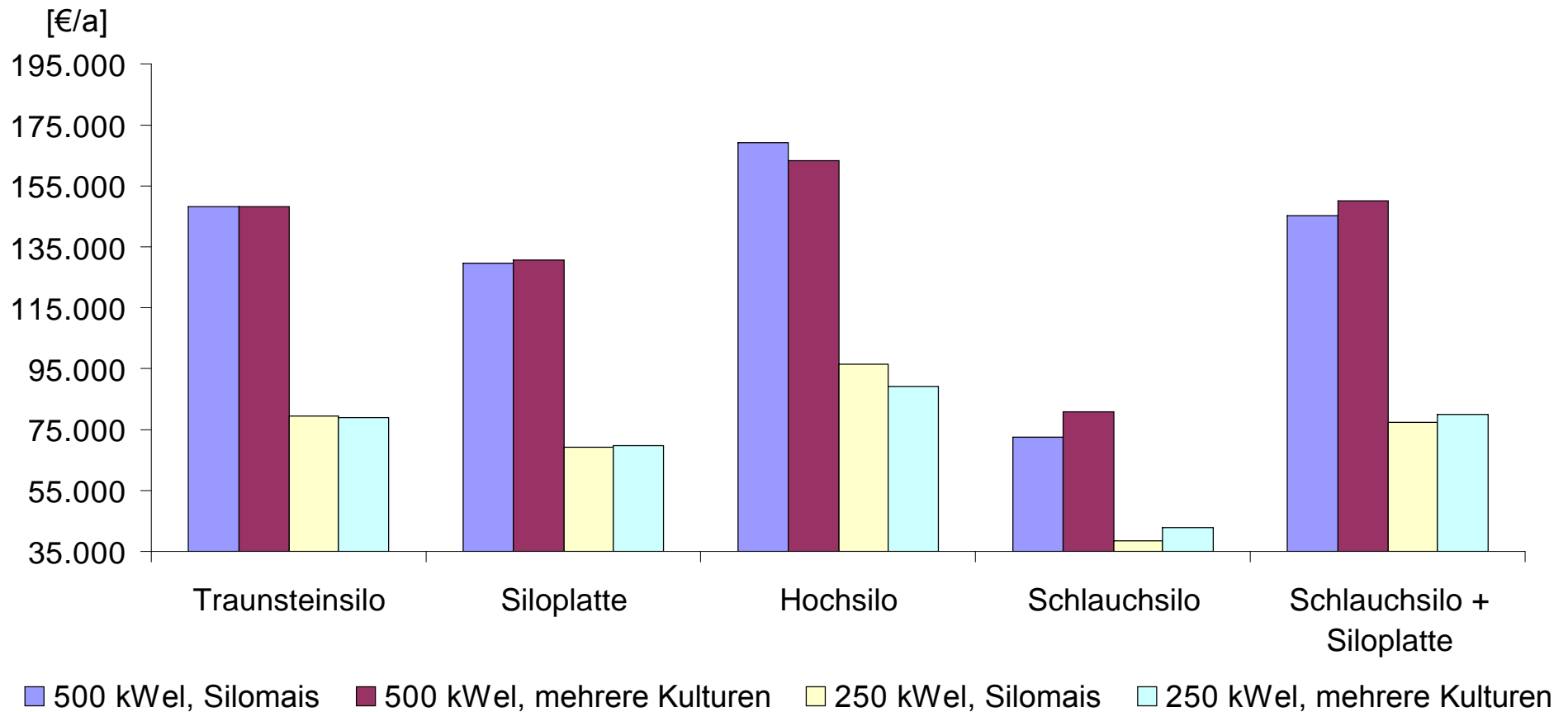
Siloraumbedarf



	Silomais		mehrere Kulturen	
	250 kW _{el}	500 kW _{el}	250 kW _{el}	500 kW _{el}
Erntemenge [t FM/Jahr]	6.800	12.800	7.900	14.900
Faktor Silobedarf	1,0	1,0	0,7	0,7
Dichte [kg FM/m ³]	700	700	600	600
Siloraumbedarf, gerundet [m ³]	9.800	18.300	9.300	17.400

Silomais 50%,
GR-SoBI 20%,
GPS-Hirse 30%

Jährliche Gesamtkosten verschiedener Silosysteme

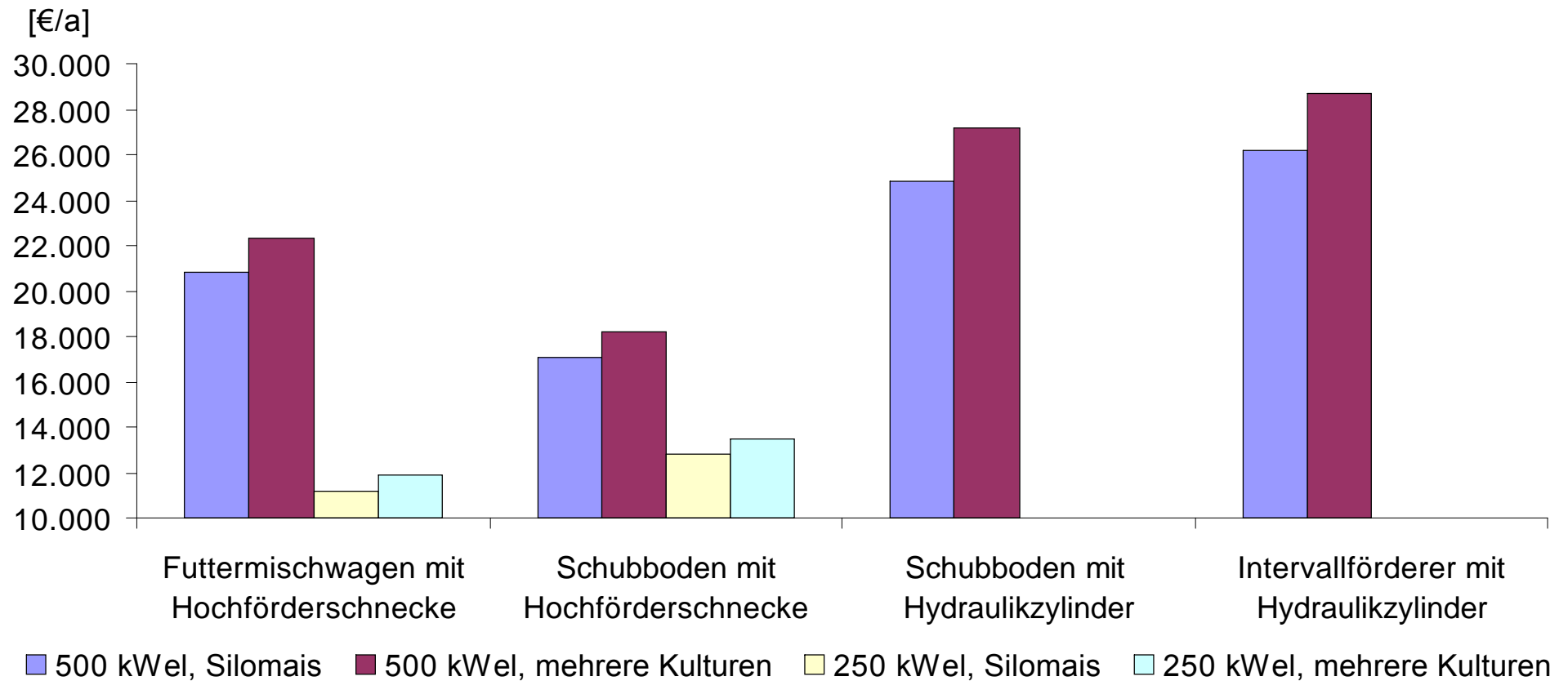


Jährliche Gesamtkosten verschiedener Silosysteme (500kW_{el})



		Investitions- kosten	Kapitalkosten (4%, 20 Jahre)	Kosten für				Summe Kosten
				Befüllung	Folie	Arbeit	Entnahme	
ausschließ- lich Silomais	Traunsteinsilo	1.244.400	91.600	18.300	2.400	1.300	34.600	148.200
	Siloplatte	988.200	72.700	18.300	2.600	1.300	34.600	129.500
	Hochsilo	2.154.000	158.500	7.600	-	300	2.800	169.200
	Schlauchsilo	-	-	34.600	-	-	38.000	72.600
mehrere Kulturen	Traunsteinsilo	1.183.200	87.100	20.700	2.300	1.200	36.900	148.200
	Siloplatte	939.600	69.100	20.700	2.500	1.200	36.900	130.400
	Hochsilo	2.022.000	148.800	10.200	-	300	4.100	163.400
	Schlauchsilo	-	-	40.200	-	-	40.600	80.800

Jährliche Gesamtkosten verschiedener Einbringssysteme



Jährliche Gesamtkosten verschiedener Einbringssysteme (500kW_{el}, ausschließlich Silomais)



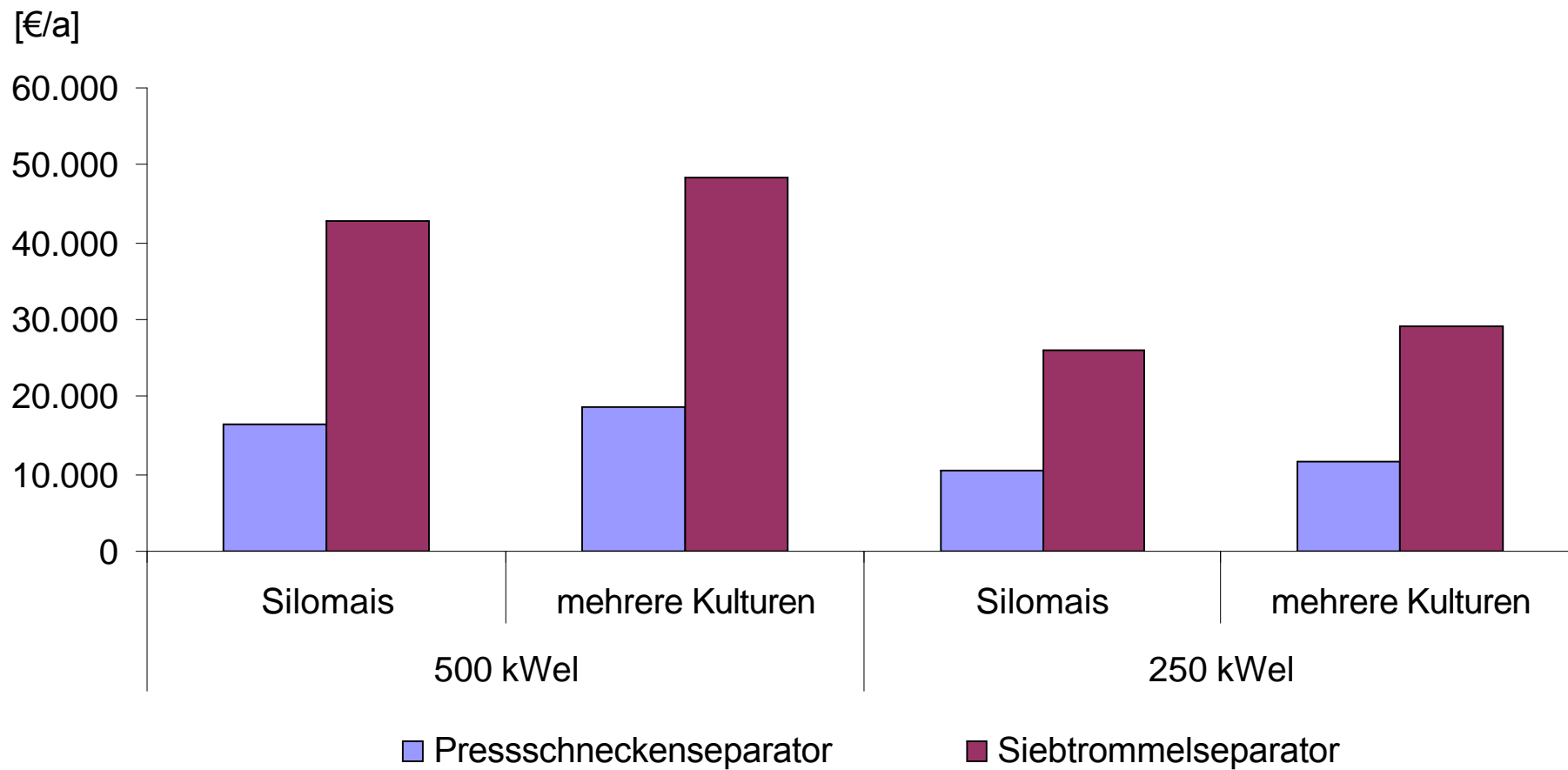
	Futtermisch- wagen	Hochförder- schnecke	Schubboden	Hochförder- schnecke	Schubboden	Hydraulik- zylinder	Intervall- förderer	Hydraulik- zylinder
Neuwert [€]	78.000	15.390	69.382	15.390	63.888	25.000	70.833	25.000
t Substrat/Jahr	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500
Einbringung [t Substrat/Stunde]	11	11	11	11	4	4	4	4
Stunden/Jahr	1.045	1.045	1.045	1.045	2.875	2.875	2.875	2.875
Nutzungsdauer	15	10	15	10	15	15	15	15
Fixkosten [%]	11,7%	15,0%	11,7%	15,0%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
Fixkosten [€/h]	8,70	2,21	7,74	2,21	2,59	1,01	2,87	1,01
Fixkosten [€/t Substrat]	0,79	0,20	0,70	0,20	0,65	0,25	0,72	0,25
Reparaturkosten [%/100 h]	0,30%	1,50%	0,30%	1,50%	0,30%	0,80%	0,30%	0,80%
Reparaturkosten [€/h]	2,34	2,31	2,08	2,31	1,92	2,00	2,12	2,00
Reparaturkosten [€/t Substrat]	0,21	0,21	0,19	0,21	0,48	0,50	0,53	0,50
Stromkosten [€/kWh] ^{*)}	0,145		0,145		0,145		0,145	
Stromverbrauch [kWh/t Substrat]	2,70		1,24		1,90		1,90	
Stromkosten [€/h]	4,31		1,98		1,10		1,10	
Stromkosten [€/t Substrat]	0,39		0,18		0,28		0,28	
Summe Kosten [€/h]	19,87		16,32		8,63		9,12	
Summe Kosten [€/t Substrat]	1,81		1,48		2,16		2,28	
Summe Kosten [€/a]	20.800		17.100		24.800		26.200	

Jährliche Gesamtkosten verschiedener Einbringssysteme (500kW_{el}, mehrere Kulturen)



	Futtermisch- wagen	Hochförder- schnecke	Schubboden	Hochförder- schnecke	Schubboden	Hydraulik- zylinder	Intervall- förderer	Hydraulik- zylinder
Neuwert [€]	78.000	15.390	69.382	15.390	63.888	25.000	70.833	25.000
t Substrat/Jahr	13.400	13.400	13.400	13.400	13.400	13.400	13.400	13.400
Einbringung [t Substrat/Stunde]	11	11	11	11	4	4	4	4
Stunden/Jahr	1.218	1.218	1.218	1.218	3.350	3.350	3.350	3.350
Nutzungsdauer	15	10	15	10	15	15	15	15
Fixkosten [%]	11,7%	15,0%	11,7%	15,0%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
Fixkosten [€/h]	7,47	1,90	6,64	1,90	2,22	0,87	2,47	0,87
Fixkosten [€/t Substrat]	0,68	0,17	0,60	0,17	0,56	0,22	0,62	0,22
Reparaturkosten [%/100 h]	0,30%	1,50%	0,30%	1,50%	0,30%	0,80%	0,30%	0,80%
Reparaturkosten [€/h]	2,34	2,31	2,08	2,31	1,92	2,00	2,12	2,00
Reparaturkosten [€/t Substrat]	0,21	0,21	0,19	0,21	0,48	0,50	0,53	0,50
Stromkosten [€/kWh] ^{*)}	0,145		0,145		0,145		0,145	
Stromverbrauch [kWh/t Substrat]	2,70		1,24		1,90		1,90	
Stromkosten [€/h]	4,31		1,98		1,10		1,10	
Stromkosten [€/t Substrat]	0,39		0,18		0,28		0,28	
Summe Kosten [€/h]	18,32		14,91		8,11		8,56	
Summe Kosten [€/t Substrat]	1,67		1,36		2,03		2,14	
Summe Kosten [€/a]	22.317		18.160		27.183		28.691	

Jährliche Gesamtkosten der Separierung



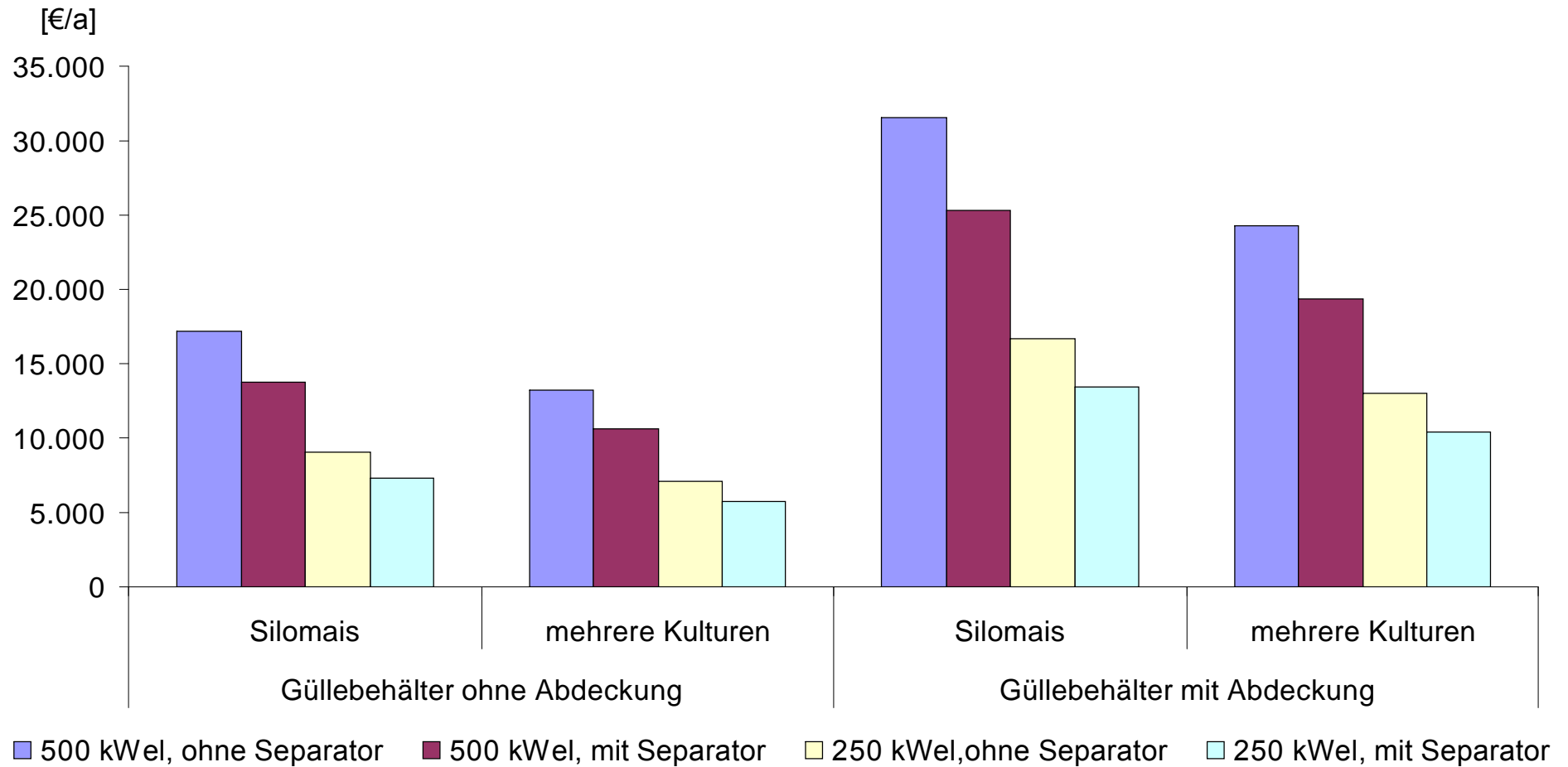
Jährliche Gesamtkosten der Separierung (500kW_{el})



	Pressschnecken- separator	Siebtrommel- separator
Investitionskosten [€]	17.000	30.000
Anschlussleistung [kW]	3,24	2,18
Abscheideleistung [t/h]	4,00	2,50
Durchsatz [m ³ /h]	7,12	4,45
Energieaufwand [kWh/m ³]	0,46	0,49
Arbeitszeitbedarf [min/d]	10	35

	Pressschneckenseparator		Siebtrommelseparator	
	Silomais	mehrere Kulturen	Silomais	mehrere Kulturen
Gülleanfall [m ³ /Jahr]	10.400	12.000	10.400	12.000
Fixkosten (17% v.NW)	2.890	2.890	5.100	5.100
Laufzeit [h/Jahr]	1.461	1.685	2.337	2.697
Fixkosten [€/h]	1,98	1,71	2,18	1,89
Reparaturkosten [€/h]	8,50	8,50	15,00	15,00
Stromkosten [€/h]	0,47	0,47	0,32	0,32
Arbeit [€/m ³]	0,05	0,05	0,19	0,16
Summe Kosten [€/h]	11,33	11,02	18,33	17,93
Summe Kosten [€/m ³]	1,59	1,55	4,12	4,03
Summe Kosten [€/a]	16.500	18.600	42.800	48.400

Jährliche Kosten des Gülleendlagers

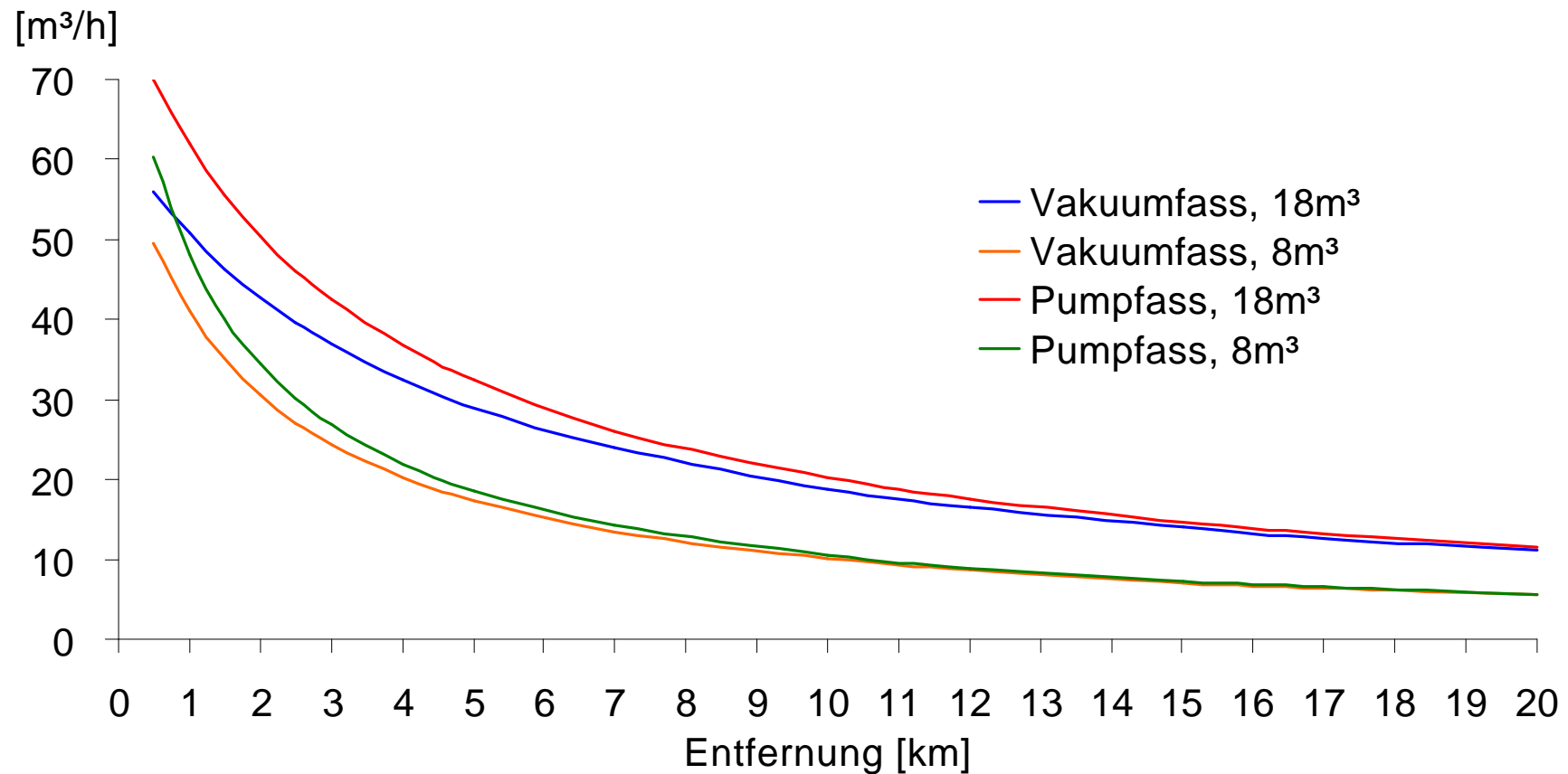


Jährliche Kosten des Gülleendlagers (500kW_{el}, ohne Separator)



	Güllebehälter ohne Abdeckung		Güllebehälter mit Abdeckung	
	Silomais	mehrere Kulturen	Silomais	mehrere Kulturen
Gülleanfall/Jahr [m ³]	10.400	12.000	10.400	12.000
Behälterbedarf	75%	50%	75%	50%
Behälterbedarf [m ³]	7.800	6.000	7.800	6.000
Investition Güllebehälter [€]	234.000	180.000	234.000	180.000
Investition Abdeckung [€]	-	-	195.000	150.000
Annuität (4 %, 20 Jahre)	17.200	13.200	31.600	24.300

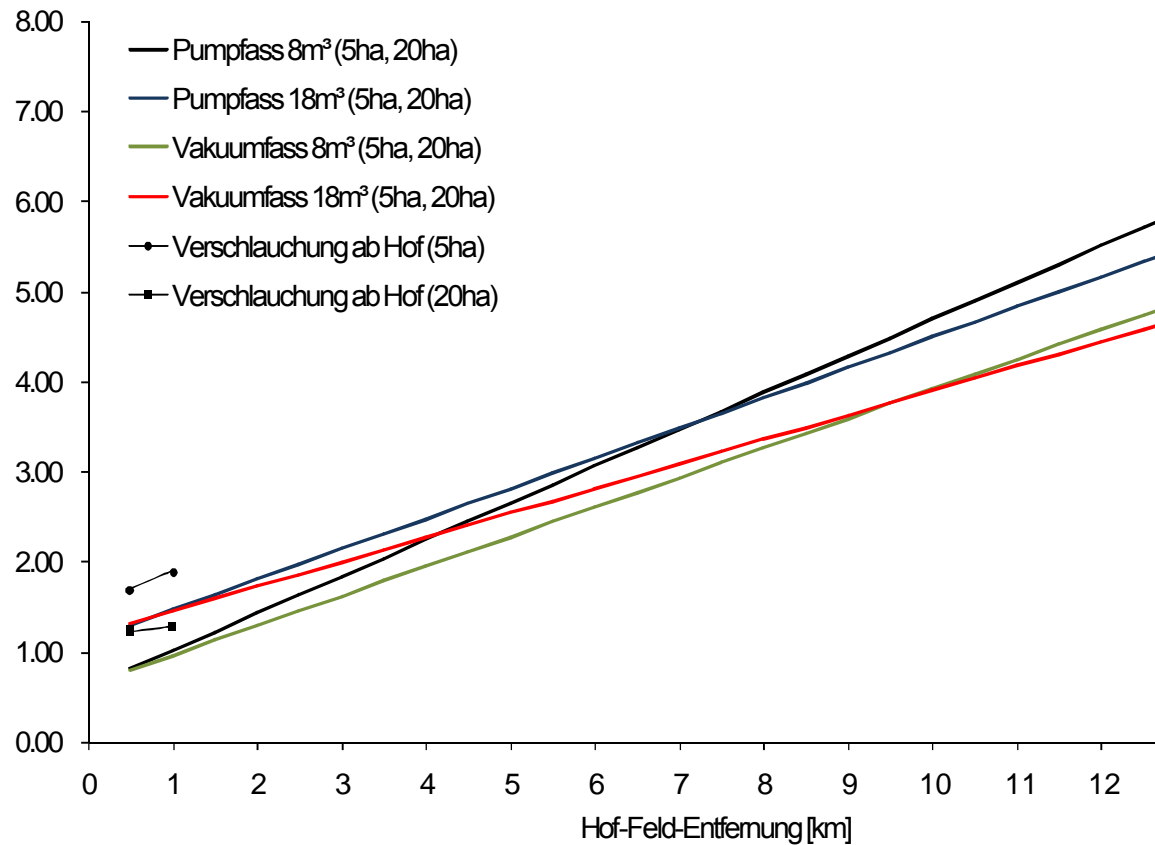
Ausbringleistung bei der Gülleausbringung mittels Güllefass



Kosten der Gülleausbringung – Güllefass, Verschlauchung

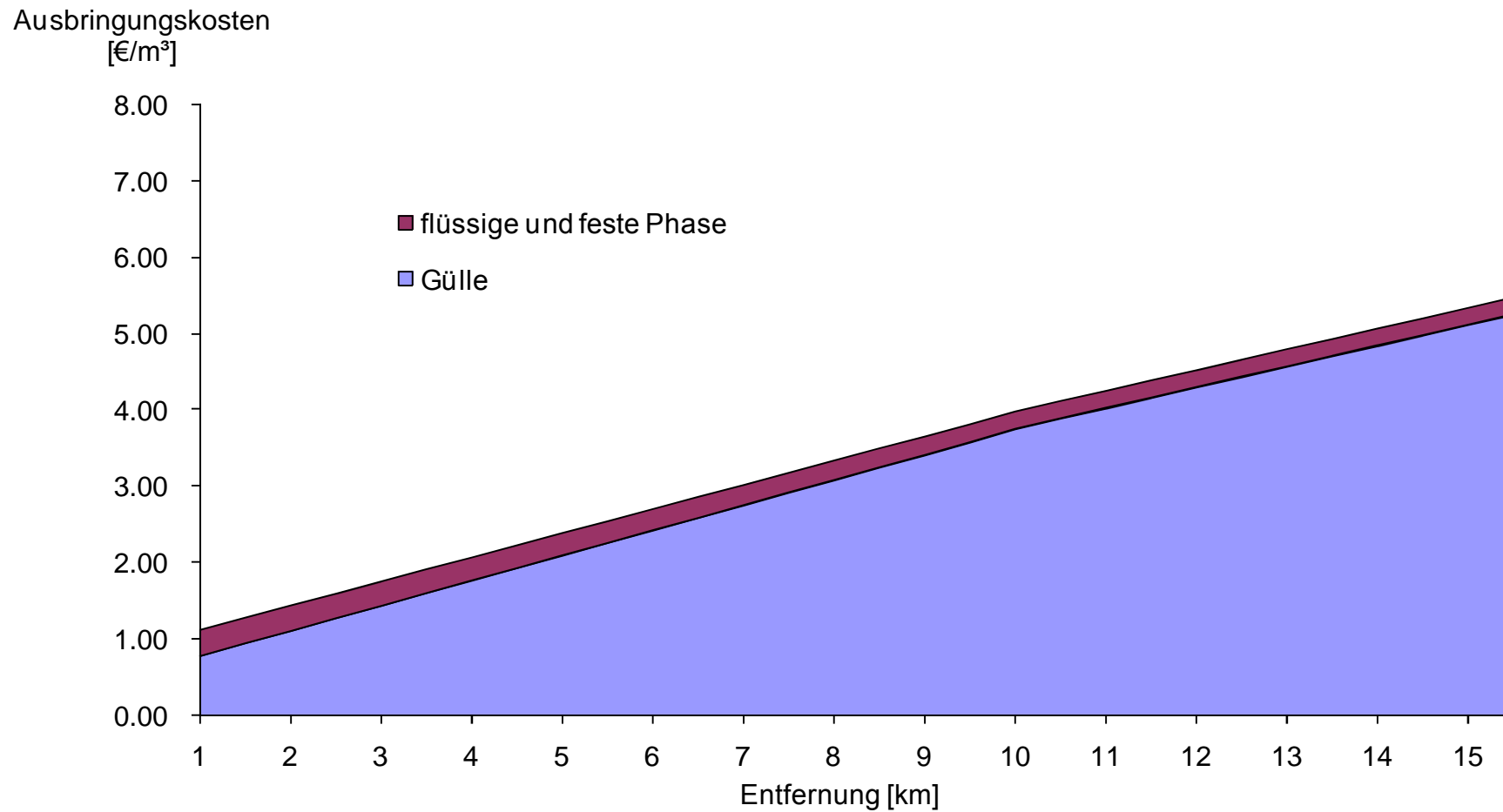


Ausbringungskosten
[€/m²]

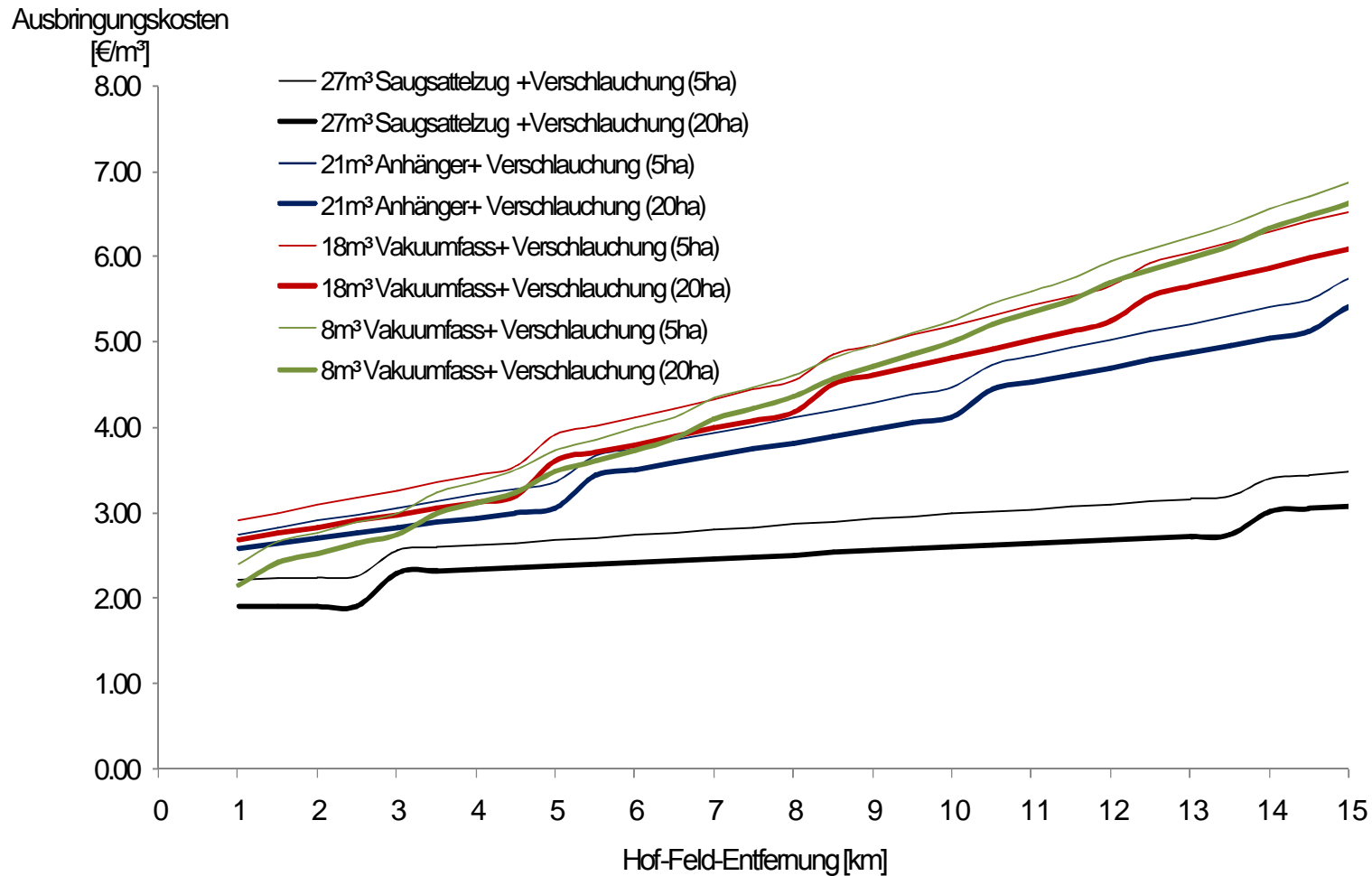


km	Pumpfass 8m ³	Pumpfass 18m ³	Vakuumfass 8m ³	Vakuumfass 18m ³
0,5	0,82	1,30	0,80	1,32
1,0	1,02	1,47	0,96	1,45
1,5	1,22	1,64	1,12	1,59
2,0	1,43	1,80	1,29	1,72
2,5	1,63	1,97	1,45	1,86
3,0	1,84	2,14	1,62	2,00
3,5	2,04	2,31	1,78	2,13
4,0	2,24	2,48	1,95	2,27
4,5	2,45	2,64	2,11	2,40
5,0	2,65	2,81	2,27	2,54
5,5	2,86	2,98	2,44	2,68
6,0	3,06	3,15	2,60	2,81
6,5	3,26	3,32	2,77	2,95
7,0	3,47	3,48	2,93	3,08
7,5	3,67	3,65	3,10	3,22
8,0	3,88	3,82	3,26	3,36
8,5	4,08	3,99	3,42	3,49
9,0	4,28	4,16	3,59	3,63
9,5	4,49	4,32	3,75	3,76
10,0	4,69	4,49	3,92	3,90
10,5	4,90	4,66	4,08	4,04
11,0	5,10	4,83	4,24	4,17
11,5	5,30	4,99	4,41	4,31
12,0	5,51	5,16	4,57	4,44
12,5	5,71	5,33	4,74	4,58
13,0	5,92	5,50	4,90	4,72
13,5	6,12	5,67	5,07	4,85
14,0	6,32	5,83	5,23	4,99
14,5	6,53	6,00	5,39	5,12
15,0	6,73	6,17	5,56	5,26

Ausbringungskosten der Gülle bzw. der separierten Gülleteile



Kosten der Gülleausbringung – Absetziges Verfahren



Szenarien (1)



Modellanlage mit 500 kW_{el}

1,1 Mio. m³_N Methan

290 ha Ackerfläche:

0,5 km	23 ha
1,0 km	26 ha
1,5 km	80 ha
2,0 km	80 ha
2,5 km	15 ha
3,0 km	13 ha
3,5 km	13 ha
4,0 km	10 ha
4,5 km	10 ha
5,0 km	10 ha
5,5 km	10 ha

Opportunitätskosten der Ackerfläche: 500 € je ha

Szenarien (2)



Basisszenario

50 % Silomais, 20 % Grünroggen/Sonnenblumen und 30 %
Getreideganzpflanzen/Hirse

Gülleendlager abgedeckt

Szenario 1

Fruchtfolge frei gegeben

Szenario 2

Zugabe von 2.500 m³ Schweinegülle und 2.500 m³ Rindergülle

Szenario 3

Ohne Abdeckung des Gülleendlagers

Ergebnisse Szenarien



	Basis-Szenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Methanertrag Gesamt [m ³ _N]	1.100.000	1.100.000	1.046.600	1.100.000
Anbau/Pflege	134.327	91.373	127.806	148.981
Erntekosten	75.782	58.040	71.314	83.101
Nutzungskosten	141.632	137.457	134.755	157.082
Gülleausbringungskosten	16.010	13.150	13.743	16.164
Summe Kosten	367.751	300.020	347.618	405.328
Biogasgülleanfall [m ³]	12.424	10.399	14.851	13.780
N-Gehalt Gülle [kg N/m ³]	4,1	4,1	4,8	3,7
Ernteanfall [t FM]	15.339	12.838	14.594	17.012
geerntete Fläche [ha]	283	275	270	314
€/m ³ _N	0,334	0,273	0,332	0,368
Cent/kWh_{el}	8,86	7,23	8,37	9,77
Differenz je kWh _{el} in %		-18,4%	-5,5%	10,2%

Einfluss von Anlagengröße, Rohstoffangebotsdichte und Fruchtfolgebeschränkungen



Optimierungsmodelle mit

250 bzw. 500 kW_{el}

36 bzw. 38% el. Wirkungsgrad

10 bzw. 20% Rohstoffangebotsdichte

Sektoren in 500m Schritten

10 bzw. 20% der Fläche eines Sektors werden in der Biogasanlage genutzt

Mit und ohne Fruchtfolgebeschränkungen

100% Silomais bzw.

50 % Silomais, 20 % Grünroggen/Sonnenblumen und 30 %
Getreideganzpflanzen/Hirse

Kosten für Substratbereitstellung und Gülleausbringung in Abhängigkeit der Anlagengröße, Fruchtfolge und Rohstoffangebotsdichte



	100% Mais				Fruchtfolge mit 50% Mais			
	500 kW _{el}		250 kW _{el}		500 kW _{el}		250 kW _{el}	
Rohstoffangebotsdichte	20%	10%	20%	10%	20%	10%	20%	10%
Methanertrag Gesamt [m ³ _N]	1.100.000	1.100.000	580.000	580.000	1.100.000	1.100.000	580.000	580.000
Anbau/Pflege	91.373	91.373	50.498	50.498	94.148	94.148	52.032	52.032
Erntekosten	55.891	59.357	26.291	27.716	113.747	117.326	60.605	62.055
Nutzungskosten	137.457	137.457	72.477	72.477	141.631	141.631	74.678	74.678
Gülleausbringungskosten	12.484	14.482	5.842	6.664	14.459	16.700	6.789	7.712
Summe Kosten	297.205	302.669	155.108	157.356	363.985	369.805	194.104	196.478
Biogasgülleanfall [m ³]	10.399	10.399	5.483	5.483	12.424	12.424	6.551	6.551
N-Gehalt Gülle [kg N/m ³]	4,13	4,13	4,13	4,13	4,12	4,12	4,12	4,12
Ernteanfall [t FM]	12.838	12.838	6.769	6.769	15.339	15.339	8.088	8.088
geerntete Fläche [ha]	275	275	145	145	283	283	149	149
€/m ³ _N	0,270	0,275	0,267	0,271	0,331	0,336	0,335	0,339
Cent/kWh_{el}	7,15	7,28	7,47	7,58	8,76	8,90	9,35	9,47
Differenz je kWh _{el} in %								
Fruchtfolge					22%	22%	25%	25%
Anlagengröße			4,5%	4,1%			6,8%	6,4%
Rohstoffangebotsdichte		1,8%		1,4%		1,6%		1,2%

Zusammenfassung



Optimale Mechanisierung der Ernte

Silosysteme

Einbringtechnik

Separator

Gülleendlager

Kostengünstige Ausbringung der Biogasgülle

Szenarien

Danke für die Aufmerksamkeit