

## Zuckerrüben: Erntetechnik und Bodenschutz

### Vielseitige Wechselwirkungen zwischen Technik, Erntequalität und Ökologie

Ernst Spiess und Etienne Diserens, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen



Die Technik in der Zuckerrübenenernte ist durch ein breites internationales Maschinenangebot sowie eine grosse Verfahrens- und Systemvielfalt gekennzeichnet. Zirka 20 Hersteller führen für Mitteleuropa rund 50 unterschiedliche Maschinentypen im Programm. Zwischen ein und neun Reihen Arbeitsbreite sind alle Leistungsklassen vertreten. Der Hauptmarkt für die kleinen Maschinen liegt heute noch in Italien und Skandinavien. Die grösste Bedeutung kommt den sechsreihigen, selbstfahrenden Köpfrödebunkern (Vollerntern) zu, die von zwölf Firmen mit 15 Typen in drei Grössenklassen mit Motorleistungen bis zu 370 kW angeboten werden. Diese Maschinenart zeichnet sich besonders aus durch den hohen Standard der Steuer-, Regel- und Informationssysteme. In Belgien, Frankreich, Italien und Grossbritannien werden auch ein- und zweiphasige Verfahren mit bis zu neun Reihen immer noch weiterentwickelt. Köpfrödelader und Ladebunker kommen hier vermehrt als selbstfahrende Einheiten zum Einsatz. Bei der Entblätterung dominieren Schlegelsysteme. Für die Nachbearbeitung gibt es vier grundlegend unterschiedliche Köpferarten, wobei

die einfachen Schleiftastensysteme am häufigsten eingesetzt werden. Polderschare eignen sich je nach Ausföhrung für viele Einsatzbedingungen und zählen daher meistens zur Standardausröstung. Siebsterne zeigen eine besonders hohe Absiebefizienz; sie sind oft in Kombination mit Spiralwalzen bei den meisten Reinigungsaggregaten zu finden. Nach einfachen Kriterien lassen sich Arbeitsqualität und Verluste in der Praxis überprüfen und optimieren. Feuchter, lockerer Boden und Radlasten bis in den Bereich von 10 t stellen hohe Anforderungen an den Bodenschutz. Ausgehend von Feldmessungen und Modellrechnungen lassen sich die verschiedenen Ernteverfahren hinsichtlich der Bodenbeanspruchung einordnen. Mittels einfacher Regeln und Hilfsmittel wie dem «Schraubenziehertest» können die Bodenbedingungen in der Praxis eingeschätzt und durch entsprechende Massnahmen Bodenschäden vermindert werden. Bei grossen Bunkermaschinen stehen dabei die gezielte Begrenzung der Maximalgewichte mittels Bunkerfüllung und die Ausnutzung der variablen Fahrweise mit unterschiedlichem Spurflächenanteil im Vordergrund.

Inhalt	Seite
Entwicklungstrends und Maschinenangebot	2
Verfahrensvielfalt nach wie vor gross	2
Arbeitsaggregate: Systeme und Eignung	7
Hightech bei Selbstfahrern	9
Erntequalität überprüfen/optimieren	11
Bodenschutz hat hohen Stellenwert	12
Begriffe «Boden»	13
Praktische Beurteilung des Bodenzustandes in der Zuckerrübenenernte; Empfehlungen	13
Bodenbeanspruchung	14
Schraubenziehertest	18
Fazit/Literatur	19

## Entwicklungstrends und Maschinenangebot

Um 1980 bis 1985 erreichte die Erntemechanisierung von Zuckerrüben hinsichtlich der **Verfahrens-, System-, Typen- und Herstellervielfalt** in Mitteleuropa einen nie dagewesenen Höhepunkt. In dieser Zeit standen vor allem die Verbesserung der Arbeitsqualität und Verminderung der Ernteverluste im Vordergrund. Arbeitsbreiten von ein bis sechs Reihen in ein bis drei Phasen, angebaute, gezogene und selbstfahrende Maschinen in den verschiedensten Kombinationen waren im Marktangebot enthalten. In der Folgezeit richtete sich die Weiterentwicklung vor allem auf die **Erhöhung der Reihenzahl** bei den Vollerntemaschinen (KRB) und **Zusammenlegung der Arbeitsgänge bei den mehrphasigen Verfahrenen**. Viele Zwischenlösungen wie etwa das dänische zweiphasige Verfahren (K+RB) und alle dreiphasigen Verfahren (K+R+L+T) sind im heutigen Angebot verschwunden. Im Vordergrund steht nun die Perfektionierung der Funktionssicherheit, der Arbeitsqualität und des Arbeitskomforts. Die **Blattbergung/-verfütterung** hat nur noch eine geringe Bedeutung. Im Gegensatz etwa zu Deutschland wird in Frankreich, Belgien und Grossbritannien das **zweiphasige Verfahren** (K,R+LB) in Reihenzahlen von drei bis acht immer noch weiterentwickelt, wobei aber ganz unterschiedliche verfahrenstechnische Lösungen zur Anwendung kommen. Dem ist insofern Bedeutung zuzumessen, als sich die hohen Gewichte in der Regel hier besser verteilen lassen und bei Zwischenschwadablage mit Abtrocknung beträchtliche Vorteile hinsichtlich einer schonenden Abreinigung (Erdabbröckelung) auf bindigen Böden resultieren können. Die grössten Arbeitsbreiten wurden bisher von einer Firma mit einem **neunreihigen, selbstfahrenden Köpfrodelader** (KRL) realisiert (Abb. 1). Dieses einphasige, zweiteilige Ernteverfahren ist schlagkräftiger als sechsreihige **Köpfrdebunker**, der Arbeitsbedarf aber nur geringfügig höher. Bei den Köpfrdebunkern (KRB) ging die Entwicklung in den Neunzigerjahren vor allem auf **fünf bis siebenreihige Selbstfahrer**, deren Markt sich heute zwölf Hersteller teilen (Tab. 1) Dies war mit einer drastischen Gewichtserhöhung verbunden, denn Kompromisse wie etwa nicht ausreichende Bunkereinhalte für lan-

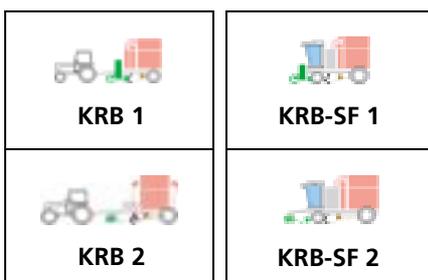


Abb. 1: Die höchsten Arbeitsbreiten werden zur Zeit mit einem neunreihigen Köpfrodelader (KRL SF 9, Moreau) erreicht (a). Für den Strassentransport lassen sich sowohl der zweiteilige Schlegeköpfer als auch die Siebsterreinigung seitlich hochklappen (b).

ge Felder akzeptiert die Praxis nicht mehr. Mit **Radlasten bis über 10 t** und **Maximalgewichten um 60 t** stehen nun in der Zuckerrübenenernte die bisher schwersten Landmaschinen im Einsatz. Eine entsprechend hohe Bedeutung ist heute dem **Bodenschutz** bzw. einer gezielten Erntestrategie beizumessen.

## Verfahrensvielfalt nach wie vor gross

### Ein- und zweireihige Köpfrdebunker: Angebot rückläufig



Obwohl in den Hauptanbaubereichen Mitteleuropas der Trend zu Arbeitsbreiten von sechs und mehr Reihen geht, haben einige Hersteller auch noch ein- und zweireihige Köpfrdebunker im Angebot. In Anbauregionen mit kleineren Feldstrukturen, wo der Rübenblatternte

noch eine gewisse Bedeutung zukommt, sind diese oft auch älteren Maschinen immer noch stark verbreitet. Ein- und Zweireiher können teilweise noch mit dem auch für die Ganzblattbergung geeigneten Radstapköpfsystem ausgerüstet werden. Weitere Vorzüge liegen bei der hohen Flexibilität, Hangtauglichkeit und Wendigkeit sowie bei den relativ geringen Radlasten der gezogenen Ausführungen. Der Mindestleistungsbedarf der Traktoren liegt bei etwa 40 kW für die Einreihiger und 60 kW für die Zweireihiger. Speziell in Italien besteht in Gebieten mit einer hohen Parzellierung auch noch eine bestimmte Nachfrage nach den besonders wendigen, aber verhältnismässig teuren ein- und zweireihigen **Selbstfahrern**. Dank einer besonderen Fahrwerkskonzeption wird das Anroden im Vergleich zu den gezogenen Rodern wesentlich erleichtert. Durch die Anordnung der Köpfer- und Rodeaggregate vor den Vorder- und Hinterrädern lassen sich auf dieser Maschinenseite Normalbereifungen montieren, ohne dass beim Anroden Rüben beschädigt werden. Die Räder der anderen Maschinenseite sind dagegen vorne mit Schmal- und hinten mit Zwillingsbereifung ausgerüstet, die beim Anroden zwischen den Rübenreihen laufen. Für die schnelle Anpassung an unterschiedliche Reihenabstände sind zum Teil auch hydraulische Spurverstellungen erhältlich.

### Abkürzungen für Zuckerrübenenernte-Verfahren

- K** = Köpfen/Köpfer,
- R** = Roden (und Reinigen)/Roder,
- L** = Laden (und Reinigen)/Lader,
- B** = Bunkern,
- ZB** = Zwischenbunkern,
- T** = Transporteinheit,
- SF** = Selbstfahrer

«,» steht für Einzelaggregat, «+» Phasentrennung, Transport (T) wird nicht als Phase gerechnet.

**Beispiele:** K,R 6 = Köpfer Frontanbau, Roder Heckanbau, sechsreihig, oder, KRB-SF 6 = Köpfrdebunker, selbstfahrend, sechsreihig, K,RL 3 = Köpfer Frontanbau, Rodelader gezogen oder Heckanbau, dreireihig, L = (Schwad-)Lader, LB = Ladebunker

**Tab. 1: Maschinenangebot (weiterführende Informationen unter [www.fat.ch/zre.html](http://www.fat.ch/zre.html))**

Maschinenart	KRB 1		KRB-SF 1	KRB 2	
Daten	 Köpfrödebunker gezogen 1-reihig		 Köpfrödebunker selbstfahrend 1-reihig	 Köpfrödebunker gezogen 2-reihig	
Fabrikat/Hersteller	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Kongskilde, FIN-Mynämäki	Stoll, D-Lengede	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Kongskilde, FIN-Mynämäki
Maschinentyp	BARIGELLI COLLINA-E	JUKO 100	STOLL V100	BARIGELLI B/1-4x4	JUKO XY 200
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	mail@kst.kongskilde.com	vk@wstoll.de	barigelli.com-barigelli.it	mail@kst.kongskilde.com
Vertretung CH			Landtechnik, Zollikofen		
Köpfen, System	Radtastk.	Schlegel, Radtastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Radtastk.	Schlegel, Scheibenk.
Roden, Scharsystem	Polder	Polder	Polder	Polder	Polder
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	2,5/4	2,9/4,4	3,5/5,9	2,5/4	5,2/8,0
Motor (SF) kW				90	

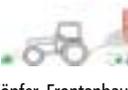
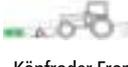
Maschinenart	KRB 2		KRB-SF 2	KRB 3	
Daten	 Köpfrödebunker gezogen 2-reihig		 Köpfrödebunker selbstfahrend 2-reihig	 Köpfrödebunker gezogen 3-reihig	
Fabrikat/Hersteller	Stoll, D-Lengede	Thyregod, DK-Give	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Stoll, D-Lengede	Thyregod, DK-Give
Maschinentyp	STOLL V200	TIM KRB/S 212	BARIGELLI EURORA 4x4	STOLL V300	TIM KRB/S312
Internet/E-Mail	vk@wstoll.de	www.thyregod.com	barigelli.com-barigelli.it	vk@wstoll.de	www.thyregod.com
Vertretung CH	Landtechnik, Zollikofen	Favre, Payerne		Landtechnik, Zollikofen	Favre, Payerne
Köpfen, System	Schlegel, Schleiftastk.	Kreisel od. Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Radtastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Kreisel od. Schlegel, Schleiftastk.
Roden, Scharsystem	Polder	Rad	Polder	Polder	Rad
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	6,2/10	7,8/12	4,5/7	12,5/17	7,8/12
Motor (SF) kW			173		

Maschinenart	KRB-SF 3	KRB-SF 5/6/7 (klein)		KRB-SF 5/6/7 (mittel)	
Daten	 Köpfrödebunker selbstfahrend 3-reihig	 Köpfrödebunker selbstfahrend 5/6 od. 7-reihig, klein		 Köpfrödebunker selbstfahrend 5/6 od. 7-reihig, mittel	
Fabrikat/Hersteller	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Agrifac, NL-Steenwijk	Franquet, F-Guignicourt	Kleine, D-Salzkillen	Agrifac, NL-Steenwijk
Maschinentyp	BARIGELLI B/3 4x4-5	AGRIFAC WKM 9000	FRANQUET TETRA	KLEINE SF 10	AGRIFAC ZA 215 EH
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	andreas.thoeni@fenaco.com	www.franquet.com		andreas.thoeni@fenaco.com
Vertretung CH		Landtechnik, Zollikofen		Matra, Zollikofen	Landtechnik, Zollikofen
Köpfen, System	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.
Roden, Scharsystem	Polder	Polder	Polder	Polder	Polder
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	8,7/12,5	9,5/15	11/15	10/15	20/28
Motor (SF) kW	225	220	221	235	268

Maschinenart	KRB-SF 5/6/7 (mittel)				
Daten	 Köpfrödebunker selbstfahrend 5/6 od. 7-reihig, mittel				
Fabrikat/Hersteller	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Gilles, B-Clermont	Holmer	Matrot, F-Noyers Saint Martin	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut
Maschinentyp	BARIGELLI B/6 4x4	GILLES RBI 420	HOLMER Terra-Dos	MATROT M2001	MOREAU VOLTRA 6-24
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	www.gilles-sa.com	www.holmer-maschinenbau.de		www.ets-moreau.fr
Vertretung CH			Brack, Unterstammheim		
Köpfen, System	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.
Roden, Scharsystem	Polder	Polder	Polder	Polder	Polder
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	16/25	15/24	18/24	17/26	16/24
Motor (SF) kW	325	355	308	360	286

Maschinenart	KRB-SF 5/6/7 (mittel)			KRB-SF 5/6/7 (gross)		
Daten	 Köpfrödebunker selbstfahrend 5/6 od. 7-reihig, mittel			 Köpfrödebunker selbstfahrend 5/6 od. 7-reihig, gross		
Fabrikat/Hersteller	Thyregod, DK-Give	Riecam, NL-Heerenhoek	Vervae, NL-Bierviliet	Agrifac, NL-Steenwijk	Ropa, D-Herngiersdorf	
Maschinentyp	TIM SR 2500	RIECAM RBM 300-S	VERVAET 17 T	AGRIFAC WKM Big Six II	ROPA euro-TIGER	
Internet/E-Mail	www.thyregod.com	sales-riecam@agrimac.nl	www.vervae.nl	andreas.thoeni@fenaco.com	www.ropa-maschinenbau.de	
Vertretung CH	Favre, Payerne			Landtechnik, Zollikofen	Brack, Unterstammheim	
Köpfen, System	Kreisel od. Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftaster	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	
Roden, Scharsystem	Rad	Polder	Polder	Polder	Polder	
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	18/25	17/24	17/26	23/34	28/43	
Motor (SF) kW	260	300	280	300	338	

Maschinenart	KR 5/6/7	K,R 5-8			
Daten	 Köpfröder Frontanbau 5/6 od. 7-reihig	 Köpfer Frontanbau, Roder Heckanbau, 5-8 reihig			
Fabrikat/Hersteller	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Dehont, F-Cany	Franquet, F-Guignicourt	Gilles, B-Clermont
Maschinentyp	BARIGELLI B/65	BARIGELLI B/6C	DEHONT	FRANQUET SAIGA+AR E	GILLES TR14-117/AP-AS 48/80
Internet/E-Mail	barigelli.com-barigelli.it	barigelli.com-barigelli.it		www.franquet.com	www.gilles-sa.com
Vertretung CH					
Köpfen, System	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Radtastk.	Schlegel, Radtastk.	Schlegel, Schleiftastk.
Roden, Scharsystem	Polder	Polder	Scheiben	Polder	Scheiben od. Polder
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>					
Motor (SF) kW					

Maschinenart	K,R 5-8	K,RB 3/4/6	K,RL 3/4/6	K,RL 6	KR,L 6
Daten	 Köpfer Frontanbau, Roder Heckanbau, 5-8 reihig	 Köpfer, Frontanbau, Rodebunker gezogen, 3/4 od. 6-r.	 Köpfer Frontanbau Rodelader gezogen, 3/4 od. 6-r.	 Köpfer Frontanbau, Rodelader gezogen, 6-r.	 Köpfröder Frontanbau, Lader gezogen, 6 r.
Fabrikat/Hersteller	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Garford, GB-Peterborough	Garford, GB-Peterborough	Franquet, F-Guignicourt	Dehont, F Cany
Maschinentyp	MOREAU EP 12, AS 2500	GARFORD VT 3/4/6	GARFORD VICTOR 3/4/6	FRANQUET SAIGA+ACTE 4	DEHONT AV.6R
Internet/E-Mail	www.ets-moreau.fr	www.garford.com	www.garford.com	www.franquet.com	
Vertretung CH	Grunderco, Aesch u. Satigny				
Köpfen, System	Schlegel, Schleiftastk.	Kreisel, Schraubenk.	Kreisel, Schraubenk.	Schlegel, Radtastk.	Schlegel, Radtastk.
Roden, Scharsystem	Polder oder Scheiben	Rad	Rad	Polder	Scheiben
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>					
Motor (SF) kW					

Maschinenart	KRL-SF 5/6/7	KRL-SF 9		L
Daten	 Köpfrodelader selbstfahrend, 5/6 od. 7-r.	 Köpfrodelader selbstfahrend, 9-r.		 Schwadlader gezogen
Fabrikat/Hersteller	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Matrot, F-Noyers Saint Martin	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Dehont, F Cany
Maschinentyp	MOREAU LECTRA V2	MATROT M 41	MOREAU SUPRA 9.12	DEHONT DT CH.
Internet/E-Mail	www.ets-moreau.fr		www.ets-moreau.fr	www.franquet.com
Vertretung CH	Grunderco, Aesch u. Satigny		Grunderco, Aesch u. Satigny	
Köpfen, System	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	Schlegel, Schleiftastk.	
Roden, Scharsystem	Polder od. Scheiben	Polder od. Scheiben	Polder od. Scheiben	
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	3/4,5 od. 4,5/7	3,6/5,5	7,8/12	
Motor (SF) kW	230	261	280	

Maschinenart	L	LB	LB SF (mittel)	LB SF (gross)	
Daten	 Schwadbücker gezogen	 Ladebunker gezogen	 Ladebunker selbstfahrend mittel	 Ladebunker selbstfahrend gross	
Fabrikat/Hersteller	Moreau, F-Nyelles-sur Escaut	Barigelli, I-Strada di Cingoli	Bleinroth, D-Barsinghausen	Gilles, B-Clermont	Franquet, F-Guignicourt
Maschinentyp	MOREAU CN 40	BARIGELLI B/AC-120	BLEINROTH LB 25	GILLES RB 240 T	FRANQUET 110 By
Internet/E-Mail	www.ets-moreau.fr	barigelli.com-barigelli.it	Bleinrot@debitel.net	www.gilles-sa.com	www.franquet.com
Vertretung CH	Grunderco, Aesch u. Satigny		Matra, Zollikofen		
Köpfen, System					
Roden, Scharsystem					
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>		13/20	14/25	14/24	27/40
Motor (SF) kW				212	309

Maschinenart	LB SF (gross)
Daten	 Ladebunker selbstfahrend gross
Fabrikat/Hersteller	Gilles, B-Clermont
Maschinentyp	GILLES 410T
Internet/E-Mail	www.gilles-sa.com
Vertretung CH	
Köpfen, System	
Roden, Scharsystem	
Bunkerin, Inhalt t/m <sup>3</sup>	25/34
Motor (SF) kW	315

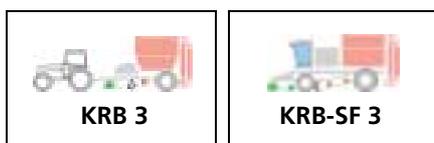


Abb. 2a: Dreireihiger gezogener Köpfrödebunker (KRB 3) mit Schlegelköpfer. Auch die zweireihige Ausführung basiert auf dem gleichen Grundaufbau (TIM).

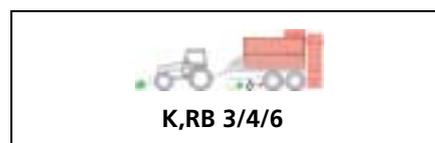


Abb. 2b: Dreireihiger Köpfrödebunker selbstfahrend (KRB SF 3). Mittels Schmal- und Zwillingsbereifungen auf der linken Maschinenseite ist das Gassenroden möglichst (Barigelli).

## Köpfrödebunker von drei bis sieben Reihen; Tendenz zu grossen Selbstfahrern



**Dreireihige Köpfrödebunker** werden praktisch nur noch mit dem Blattschlägersystem (horizontal oder vertikal) ausgerüstet. Der Traktor-Mindestleistungsbedarf bei gezogenen Maschinen mit Bunkerfassungsvermögen um etwa 8 t liegt bei 110 kW. Bedingt durch diese Traktorklasse (Reifengrösse) ist ein problemloses Anoden mit diesen Maschinen kaum mehr möglich, zumal die deutschen und dänischen Maschinen durchwegs mit Normal- oder Breitbereifung ausgerüstet werden (Abb. 2). Dreireihige Selbstfahrer zeigen diesbezüglich dank der Ausrüstung mit einseitiger Schmal- und Zwillingsbereifung die gleichen Vorteile wie ein- und zweireihige Selbstfahrer.



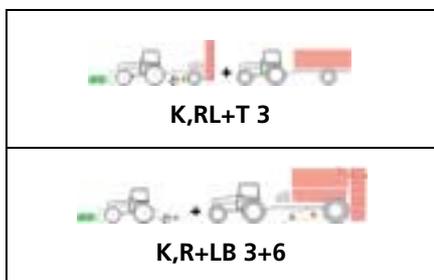
Grundlegend andersartig konzipiert sind dagegen die bis sechsheihigen **traktorbetriebenen Köpfrödebunker** von Herstellern aus Grossbritannien (Abb. 3). Die Entblätterung erfolgt mit Vertikalrotoren im Frontanbau. Die Nachköpfung ist am gezogenen Rodelader mit Radscharen und Spiralwalzenreinigung angebracht. Im Baukastensystem sind Bestückungen mit drei, vier oder sechs Reihen möglich, wobei die entblätterten Rübenreihen mit dem Traktor befahren werden müssen. Um genügend Platz für ausreichend grosse Traktorbereifungen zu schaffen, wird mit der Saat ein auf das Erntesystem abgestimmtes Spursystem angelegt. Die Reihenabstände der Spurreihen sind somit etwas grösser als bei den übrigen. Anoden ist wie bei den grossen selbstfahrenden Köpfrödebunkern möglich.



Der Trend zu **sechsheihigen selbstfahrenden Köpfrödebunkern** ist vor allem in Mitteleuropa unverkennbar. Die verschiedenen Typen können nach den Bunkerfassungsvermögen drei Grössenklassen zugeordnet werden: Die kleinen und mittelgrossen Ausführungen werden auf zwei und die grossen auf drei bis vier angetriebene Achsen abgestützt. Bei den kleinen KRB haben Zwischenbunker die Aufgabe, den Wechsel der Überladefahrzeuge zu überbrücken (Abb. 4). Ein bis eineinhalb Tonnen Fassungsvermögen je Rübenreihe können hier genügen. Beim Vollernteverfahren stellt sich die Forde-

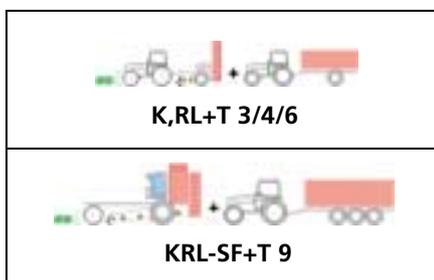
rung der Rübenabgabe am Feldende. Bei 300 m Feldlänge wird somit ein Bunkerfassungsvermögen von mindestens 1,2 t/Reihe (Maximalertrag um 800 kg/a) erforderlich. Die schwersten KRB-SF verfügen jedoch bis 4,6 t Fassungsvermögen je Rübenreihe (total um 27 t). Diese Bunkerfassungsvermögen sind vor allem auf die Voraussetzungen der europäischen Grossanbauregionen ausgelegt, wo die Felder meistens eine mehrfache Länge aufweisen und die Mieten infolge der Infrastruktur oft nur auf einer Feldseite angelegt werden können.

**Ein- und zweiphasige Verfahren**



**Dreireihige, mehrteilige ein- und zweiphasige Ernteverfahren** in der Form K,RL+T 3 sowie K,R+LB 3+6 haben in Mitteleuropa stark an Bedeutung verloren, sie werden von einzelnen Herstellern aber immer noch angeboten. Oft kommen sie als kostengünstige Lösung für die Eigenmechanisierung in Frage, wobei die meistens verfügbaren Traktoren der mittleren Leistungsklassen mit einer Schmalreifenausrüstung genutzt werden können.

Die Kombination K,R+LB 3+6 bietet wie alle mehrphasigen Verfahren mit Zwischenschwadablage den Vorteil einer leichten, schonenden Abreinigung, vorausgesetzt die Schwadabtrocknung (Abbröckeleffekt) kann stattfinden.



Ein britischer Hersteller bietet analog zu seinem Kopfrodebunkerverfahren (K,RB 3/4/6) ebenfalls für ein Spursystem abgestimmte **drei-, vier- und sechsreihige**



Abb. 3: Das traktorbetriebenen Kopfrodebunkersystem von Garford GB, ist für ein Spursystem (Spurreihen mit grösserem Reihenabstand) für drei, vier oder sechs Reihen konzipiert. Nur der Blattschläger ist am Traktor frontangebaut. Beide Achsen des Rodebunkers sind hydraulisch angetrieben.



Abb. 4: Sechsheihiger selbstfahrender Kopfrodebunker der kleinen Baugröße (KRB SF 6, klein). Bei geringen Feldlänge können die Rüben bis ans Feldende transportiert werden. Bei grossen Feldlängen ist der Einsatz als Köpfordelader mit Zwischenbunker vorgesehen.



Abb. 5: Selbstfahrende Köpfordelader (KRL) mit bis zu neun Reihen Arbeitsbreite werden bevorzugt in Frankreich eingesetzt, wo die Rübenzwischenlagerung nicht in Feldrandmieten, sondern auf entfernteren befestigten Lagerplätzen erfolgt.

**Köpfrodelader** (K,RL+T) an. Auch hier wird im Frontanbau nur entblättert, die Nachköpfung (Schraubenköpfersystem) ist an der Rodeladeeinheit angebracht. Köpfrodelader mit mehr als drei Reihen, die nicht für ein Spursystem abgestimmt sind, werden dagegen nur als selbstfahrende Einheiten mit bis zu neun Reihen angeboten (Abb. 5).

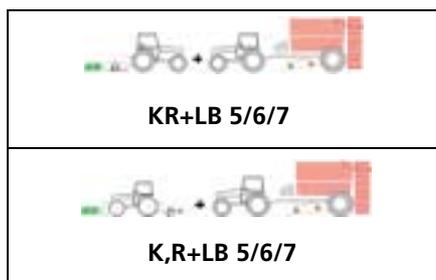


Abb. 6: Köpfroder (KR) als kombinierte Maschine haben den Vorteil, dass im Gegensatz zu getrennten Aggregaten für den Front- und Heckanbau (K,R) die Rübenreihen nicht befahren werden müssen und somit ein «Gareroden» möglich wird.

**Köpfroder** werden entweder als kombinierte Maschine (KR) für die Schubfahrt im Heckanbau oder aufgeteilt für den Front- und Heckanbau (K,R) angeboten. Die kombinierten Ausführungen haben vor allem den Vorteil, dass wie bei den selbstfahrenden sechsreihigen Köpfrdebunkern «aus der Gare» gerodet werden kann (Abb. 6). Der Einsatz von Breitreifen ist hier möglich, wogegen bei den getrennten Maschinen die Rübenreihen mit Schmal- oder Zwillingsreifen befahren werden müssen. Bei bindigen, schweren Böden kann das Roden der Spurreihen durch den seitlichen Druck der Reifen etwas erschwert werden. Dementsprechend zeigen Erntemaschinen-Vergleichstests auf schweren Böden (z. B. Seligenstadt, Oktober 2000) bei diesen Systemen tendenziell oft etwas höhere Wurzelbruchverluste als beim «Gare-roden».

für eine Vorentblätterung als funktions-sicherer und leistungsfähiger. Im Zusammenwirken mit Putzerwellen und Nachköpfen können die Köpferverluste in der Regel vermindert werden. Im Falle einer Blattbergung sind die Futtererträge bei der Vorentblätterung allerdings um 20 bis 23 % geringer und die Verschmutzung etwas höher zu veranschlagen als beim Radtast-Köpfersystem. Das Laub wird bei einigen Fabrikaten mit der sogenannten **Integralentblätterung** nach dem Schlegeln durch spezielle Werkzeuge zwischen den Rübenreihen in die Bodenoberfläche eingearbeitet, was das Anroden und die nachfolgende (Direkt-)Saat erleichtern kann. Durch den Wegfall der Querförder- und Verteilelemente lässt sich auch das Gewicht der Köpferaggregate beträchtlich vermindern. Sowohl Radtast- als auch Nachköpfersysteme werden heute überwiegend mit **Köpfstärkenautomatik** (auch Proportional- oder Differentialköpfung genannt) ausgerüstet (Abb. 8): Eine spezielle Aufhängung (meistens Trapezsystem) bewirkt, dass bei der Nachköpfung tiefer stehende Rüben mit starkem Restlaubbesatz stärker als hochstehende Rüben ohne Restlaub nachgeschnitten werden. Bei Radtastsystemen ohne Vorentblätterung sind hingegen hochstehende, grosse Rüben stärker und tiefstehende kleine Rüben schwächer zu köpfen. Zur Nachköpfung kommen heute überwiegend passive (das heisst nicht speziell angetriebene) **Schleif- oder Kufentastsysteme** zum Einsatz. Angetriebene **Radtaster mit kleinem Rollendurchmesser** für die Nachköpfung erweisen sich als vorteilig in sehr lockeren Böden (humushaltig), wo die Rüben durch die Schleiftaster leicht

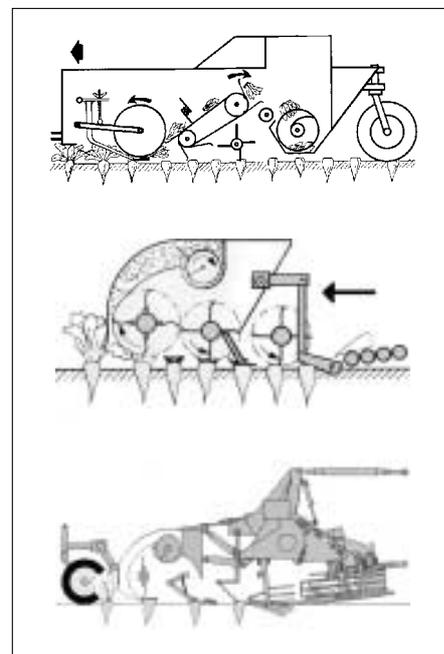


Abb. 7: Entblätterungs-/Köpfersysteme: Radtastköpfer: Kam vor allem im Zusammenhang mit der Blatternte bei den meisten ein- und mehrreihigen Verfahren zur Anwendung. Hat nur noch bei einreihigen Köpfrdebunkern eine gewisse Bedeutung. Blattschläger mit Putzerwelle, Schleiftast-Nachköpfer mit zweiter Putzerwelle (nach Kleine). Blattschläger mit Schleiftast-Nachköpfer (nach Agrifac). Diese einfache Ausführungsart ist heute am stärksten verbreitet.

## Arbeitsaggregate: Systeme und Eignung

### Überwiegend Schlegelköpfersysteme – Blatt direkt einarbeiten

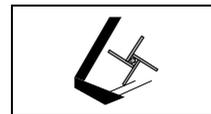


Der mittlerweile fast vollständige Verzicht auf die Blatternte führte bei den meisten Herstellern zu einer Abkehr von den Radtast-Köpfersystemen (Abb. 7). **Schleif- oder Kreiselpöfser** erwiesen sich

umgestossen werden (Abb. 9). **Teller-Nachköpfsysteme** sind ebenfalls mit Schleifkufen ausgerüstet (Abb. 10). Anstelle von fest montierten Messern werden jedoch rotierende Teller verwendet, was vor allem die Verstopfungsanfälligkeit mindert. Das **Schraubennachköpfsystem** wird überwiegend in Grossbritannien eingesetzt. Schraubenförmig (helicoidal) angeordnete Messerleisten zwischen zwei Scheiben bilden einen angetriebenen Zylinder, welcher die Rübenköpfe mit Federvorspannung radial bearbeitet bzw. abfräst (Abb. 11). Durch die besondere Anordnung der Messer re-

sultiert nicht eine glatte, sondern eine konische, der Rübenform angepasste Bearbeitungsoberfläche. Die Zielsetzung gegenüber den anderen Nachköpfsystemen besteht darin, die Masseverluste zu mindern und die Funktionssicherheit zu erhöhen. Erntevergleichstests zeigen, dass beim Stand der Technik in einem ausgeglichenen, günstigen Bestand bis zu **70 % der Rüben richtig geköpft** (Schnittlinie unterhalb der grünen Blattansätze) werden können. Ziel muss es dabei auch sein, den Anteil an zu tiefen Köpfschnitten möglichst gering zu halten, um hohe Masseverluste zu vermeiden.

**Polder-, Rad- und Scheibenschare – unterschiedliche Eignung**



Heute kommen als Wahlausrüstung überwiegend Polder- oder Radschare (auch Oppelschare genannt) zur Anwendung, allerdings in sehr verschiedenen Ausführungsvarianten (Abb. 12). **Polderschare** zeichnen sich grundsätzlich aus durch eine relativ geringe Erdaufnahme; sie werden heute überwiegend seitenebeweglich/selbstführend in angetriebener Ausführung als blockschwingend (je Scharpaar) oder einzelschwingend (je Scharblatt) ausgelegt. Vor- und Nachteile lassen sich hier nicht eindeutig klassifizieren. Um eine hohe Funktionssicherheit zu erreichen, wird der Rübenfluss meistens durch Padelwalzen oder seitliche Gummipoppenscheiben (Abb. 13) im Scharbereich unterstützt. **Radschare** sind wenig verstopfungsanfällig. Es gibt sie in geschlossener (Scheibe) und offener Ausführung (Speichen), vollangetrieben, teilangetrieben oder freilaufend. Sie arbeiten weitgehend störungsfrei und sehr schonend, erfordern aber eine exakte Seitenführung (in der Regel nicht seitenebeweglich aufgehängt), was beim Stand der Regeltechnik aber nicht mehr so problematisch ist. Bei stark verhärteten Böden kann der Einzug bzw. die Tiefenhaltung mehr Probleme bereiten als bei angetriebenen Polderscharen. Im Gegensatz zu den Polder- und Radscharen werden **Scheibenscharen** nicht paarweise/Reihe, sondern einzeln zusammen mit einer festen Gegenplatte montiert. Dieses Scharsystem erfordert eine exakte Seitenführung, es ist wenig verstopfungsanfällig aber nur für leichtere Böden mit geringem Steinbesatz geeignet. Die **Tiefenführung der Rodeorgane** wird heute in der Regel durch Tasträder oder -bügel und elektrohydraulische Regelung bewerkstelligt.

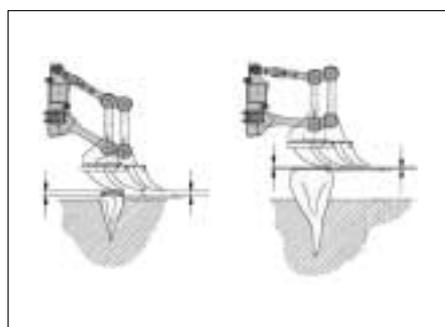


Abb. 8: Köpfstärkenautomatik für Schleiftast-Nachköpfer (a: nach Holmer, b: nach Ropa).



Abb. 9: Angetriebene Radtastnachköpfer (Barigelli). Durch die Voreilung des Radtasters wird die Gefahr, dass Rüben in lockerem Boden umgestossen werden, vermindert.



Abb. 10: Teller-Nachköpfsystem: Durch die horizontal rotierenden Teller ist die Gefahr von Steinverklammungen sehr gering.

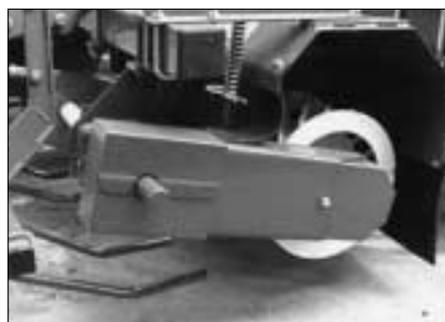


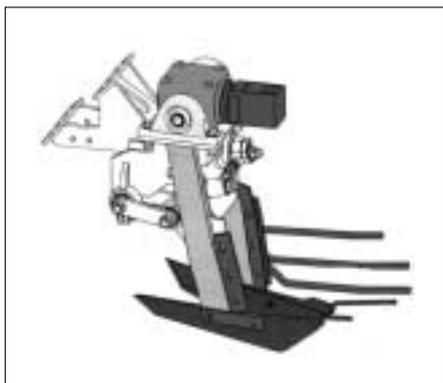
Abb. 11: Mit dem Schrauben-Nachköpfsystem können infolge der konischen Bearbeitungsfläche auch tiefere Blattansätze bei relativ geringen Masseverlusten entfernt werden (Garford).



**Seitensteuerung der Köpf- und Rodeaggregate**

Blattschläger können beim Traktor-Frontanbau (zum Beispiel bei K,R 6, K,RL 3) in der Ebene noch ohne Steuereautomatik geführt werden. Ebenso auch die heckangebauten Roder mit seitenebeweglichen, selbstführenden Polderscharen.

Mit zunehmendem Überhang vor den Vorderrädern und auch bei Hanglagen wird es zunehmend schwieriger, die Aggregate alleine über die Radsteuerung des Trägerfahrzeuges exakt den Reihen entlang zu führen. So gehören **automatische Seitensteuerungen** der Köpfrödegruppe bei ein- und mehrreihigen



Köpfrödebunkern und Köpfrödern (KR 6) zum Standard. In der Regel geben mechanische Blatt- oder Rüben-taster oder Geber an den seitenbeweglichen Polder-scharen die Steuerimpulse an eine hydraulische Seitenverschiebung der Aggregate oder an die Lenkautomatik der Räder weiter (Abb. 14). Bei den sechsreihigen selbstfahrenden Köpfrödebunkern mit Allradlenkung können dabei zum Teil wahlweise die Vorder- oder Hinterachse(n) oder beide kombiniert angesteuert werden. **Hangscheiben** werden nicht zur Steuerung, sondern zur Stabilisierung bei Seitenhanglage hinter Rodern (zum Beispiel K,R 6) und Köpfrödebunkern bis drei Reihen eingesetzt. Bei den sechsreihigen Selbstfahrern mit individueller Allradlenkung kann die Stabilisierung durch ein gezieltes (automatisches) Gegensteuern erreicht werden.

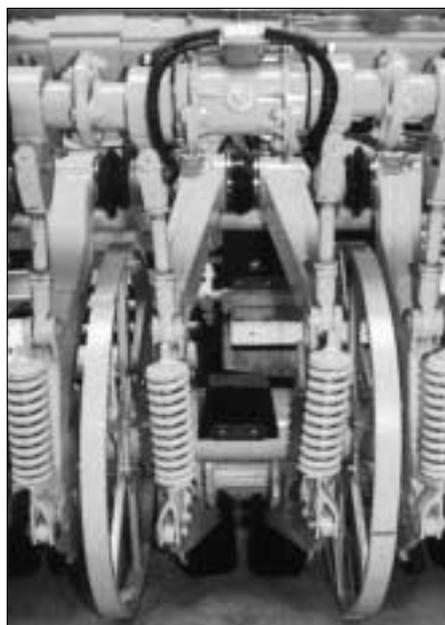


Abb. 12: a) Polder-Pendel-Schwingschar (nach Moreau), b) Polder-Einzelschwingschar mit Linearverschiebung, Tiefensteuerung durch Tastradimpulse (nach Ropa), c) Radschar freilaufend (TIM).

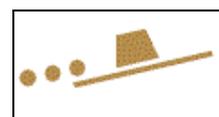


Abb. 13: Durch die oberhalb der Polder-scharblätter rotierenden Gumminoppenscheiben werden die Rüben etwas angehoben. Die Siebsterne können dadurch höher angeordnet werden (Stoll).



Abb. 14: Für die Ansteuerung der Lenkautomatik wird bei selbstfahrenden Köpfrödebunkern und Köpfrödeladern meistens von den Signalen eines mechanischen Rübenblatttasters vor der Entblätterung ausgegangen.

## Absieben und Reinigen – bewährte und neue Lösungen



Als wirkungsvolles, funktionssicheres Sieb- und Reinigungselement ist der **Siebsterne** in bis zu achtfacher Anord-

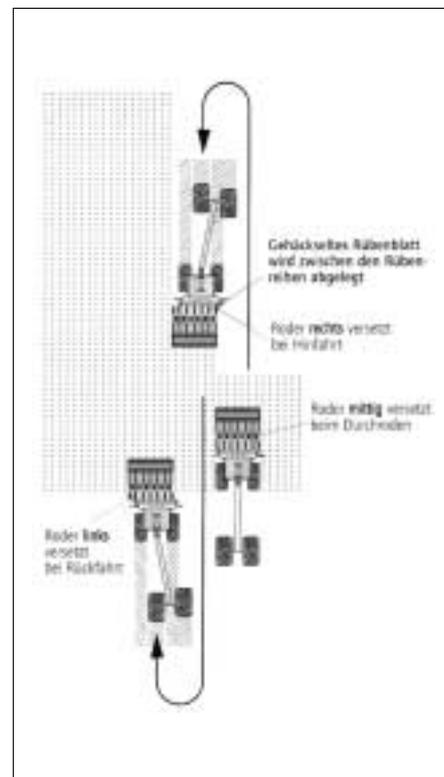
nung heute in den meisten Erntesystemen zu finden (Abb. 15). Im Vergleich zum **Siebband** (Schwerkraftabscheidung), das heute zur Überbrückung von räumlichen Engpässen vor allem in sechsreihigen KRB-SF ergänzend eingesetzt wird, kann beim Siebsterne die Zentrifugalkraft wirkungsvoll genutzt werden. **Spiral- und Noppenwalzen** ermöglichen eine bessere Platzausnutzung, weisen jedoch eine kleinere Erddurchlassfläche auf und kommen aus Platzgründen vor allem in KR, englischen K, RL und K, RB sowie sechsreihigen KRB-SF zum Einsatz, wo vor der Vorderachse gerodet wird. Mit **Noppenbändern und Bürsten** wird versucht, die Erdbabscheidung zu verbessern, ohne die Rübenbeschädigung zu erhöhen. In der breiten Praxis liegen aber noch kaum Erfahrungen mit solchen Aggregaten vor.

## Hightech bei Selbstfahrern

Hochentwickelte Komponenten im Bereiche der **Antriebs-, Fahrwerk- und Reifentechnik** machten die Realisierung von Selbstfahrern in der Art der neuen sechsreihigen KRB-SF erst möglich. So liegen die höchsten **Motorleistungen bei rund 370 kW** (503 PS). Angetrieben werden die Räder (bis zu acht) mechanisch mit Schaltgetriebe, mechanisch-hydraulisch oder vollhydraulisch (Radnaben-Hydrmotor) teils auch in Kombination. **Hydraulische Antriebe** (bisher noch nicht leistungsverzweigt) für das Fahrwerk und die Arbeitsaggregate weisen immer noch einen wesentlich ungünstigeren Wirkungsgrad auf als die vollmechanische Kraftübertragung. Nach Erfahrungen aus der Praxis ist der **Treibstoffverbrauch** für die selbstfahrenden Köpfrödebunker, Köpfrödelader und Ladebunker um 30 bis 50 % höher zu veranschlagen als bei den entsprechenden traktorbetriebenen Maschinen. **Allrad- und Hundeganglenkung** sowie eine seitliche Verschiebemöglichkeit der Köpfrödeaggregate erleichtern das Manövrieren und die Hangarbeit (Abb. 16). Durch eine gelenkige Verbindung («Knickrahmen») lässt sich der hintere Rahmen mit Fahrwerksteil bei den meisten KRB SF 6 seitlich ausschwenken. In Verbindung mit der Hundeganglenkung können die Spuren der einzelnen Räder somit über die ganze Arbeitsbreite und darüber hinaus verteilt werden, um so eine **spurversetzte Arbeitsweise** zu

ermöglichen (Abb. 17). **Gewichtsregel-systeme** bewerkstelligen vor allem bei dreiaxigen Maschinen ausgeglichene, gezielte **Achsbelastungen**. **Breitreifen** von 70 bis zu 110 cm Breite gelten als Standard. Mit einer Arbeitsbreite von sieben Reihen wird bei KRB vereinzelt versucht, günstigere Platzverhältnisse für extreme Breitreifen zu schaffen. Wie bei modernsten Grossmähdreschern gehört auch hier eine umfassende **Bordelektronik** zur Steuerung und Überwachung der vielfältigen Funktionen und Regelkreise zum Standard: Multifunktionshebel, Bordcomputer für die allgemeine Datenerfassung und -ausgabe mit Display und Drucker. Videoüberwachung, Autopilot, Tempomat, Tiefenautomatik, automatische Drehzahlanpassung der Siebaggate, elektrohydraulische Verstellung der Köpffstärke und Reihenweite ermöglichen eine hohe Funktionssicherheit und Effizienz. GPS (Global Position System) zur Erfassung und Kartierung der teilflächenbezogenen Erträge steht vorerst in der Erprobung.

Abb. 16: Mittels Integralköpfung und Seitenverschiebung der Kopf-Rodegruppe ist ein problemloses Durchroden und fortlaufendes Arbeiten in beiden Richtungen möglich (nach Holmer).



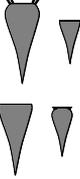
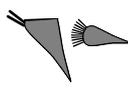
	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRB-SF 6	KRL-SF 9	KRB-SF 9
Arbeitsrichtung ↑							
	Agrifac ZA 215 EH	Barigelli B/6	Holmer Terra Dos	Kleine SF 40	Moreau Voltra 6-24	Moreau Supra 9.12	Ropa Tiger 26.50 K

Abb. 15: Unterschiedliche Konzeptionen der Sieb- und Reinigungselemente bei sechsreihigen Selbstfahrern.

Arbeitsrichtung ↑					
	Holmer Terra Dos	Kleine SF 40	Voltra 6-24	WKM 9000	WKM Big Six

Abb. 17: Besondere Fahrwerkkonzeptionen bei sechsreihigen Bunkerköpfrodern.

Kästchen 1

<b>Erntequalität überprüfen/optimieren</b>	
	<p><b>Forderung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Köpfschnitt unterhalb der grünen Blattstielansätze</li> <li>• Wurzelbruchdurchmesser max. 2 cm</li> <li>• Keine Beschädigungen</li> <li>• Erd-, Stein- und Grünbesatz minimal</li> </ul>
<b>Kriterium, Folgen</b>	<b>Abhilfe</b>
 <p><b>Köpfschnitte generell zu hoch</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abzüge (Qualität mangelhaft)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Köpfstärke erhöhen</li> <li>• Evtl. Putzerwirkung intensivieren</li> </ul>
 <p><b>Köpfschnitt generell zu tief</b></p> <p>Masseverluste - 1 cm = ca. 4 % - 2 cm = ca. 9 %</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagerungsverluste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Köpfstärke vermindern</li> </ul>
 <p><b>Grosse Rüben: Kopf abgeschlagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Masseverluste</li> <li>• Lagerungsverluste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorentblätterung: Blattschläger höher einstellen</li> </ul>
 <p><b>Grosse Rüben zu hoch kleine Rüben zu tief geköpft</b></p> <p><b>oder umgekehrt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masseverluste</li> <li>• Abzüge</li> <li>• Lagerungsverluste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Köpfstärkenautomatik (Proportionalköpfung) Einstellverhältnis anpassen</li> </ul>
 <p><b>Köpfe abgebrochen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Masseverluste</li> <li>• Lagerungsverluste</li> </ul>	<p><b>Generell:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schärfe und Winkel von Köpfmesser überprüfen</li> </ul> <p><b>Vor allem bei grossen Rüben</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Messernacheilung vergrössern</li> </ul> <p><b>Vor allem bei kleinen Rüben</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Messernacheilung verkleinern</li> </ul>
 <p><b>Schräggeköpft und umgestossene Rüben</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masseverluste</li> <li>• Rübenverluste</li> <li>• Abzüge</li> </ul>	<p><b>Generell:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schärfe und Winkel von Köpfmesser überprüfen</li> <li>• Evtl. Voreilung von Radtaster vergrössern</li> <li>• Evtl. Taster-Auflagekraft verringern</li> </ul>
 <p><b>Wurzelbruchverluste</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masseverluste - Ø-2 cm = 1 % - Ø 2-4 cm = 3,5 % - Ø 4-6 cm = 8,5 %</li> <li>• Lagerungsverluste</li> </ul>	<p><b>Viele Wurzelspitzen im Boden:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rodeaggregate überprüfen (Verschleiss, Tiefeneinstellung, Schwingfrequenz)</li> <li>• Evtl. Arbeitsgeschwindigkeit reduzieren</li> </ul>
	<p><b>Viele Wurzelspitzen auf der Bodenoberfläche:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstellung/Ausrüstung der Siebaggregate überprüfen (Umlaufgeschwindigkeit, Siebrostart: Gleitstäbe sind schonender als Federzinken)</li> </ul>
	<p><b>Viele Wurzelspitzen im Erntegut:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallstufen unterbrechen/dämpfen (Elevator, Bunker entleeren)</li> </ul>
 <p><b>Flankenbeschädigungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masseverluste</li> <li>• Lagerungsverluste</li> </ul>	<p><b>Beschädigungsfläche verschmiert:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor allem Einstellung, Funktion und Zustand der Rode-, Sieb- und Reinigungsaggregate überprüfen</li> </ul> <p><b>Beschädigungsflächen wenig verschmutzt:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor allem Rübenumschlag (hohe Fallstufen, scharfkantige Maschinenteile) überprüfen</li> </ul>
 <p><b>Rodeverluste</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rübenverluste</li> </ul>	<p><b>Grössere Rüben:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Defekte Maschinenteile</li> </ul> <p><b>Kleine Rüben:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spaltenweiten zu gross (Siebaggregate)</li> </ul>

**Bodenschutz hat hohen Stellenwert**

**Die Zuckerrübenenernte: ein Sonderfall**

Im Vergleich zu anderen Maschineneinsätzen und Kulturen im Ackerbau ist die Zuckerrübenenernte durch einige Besonderheiten gekennzeichnet. Das Zusammenwirken von ungünstigen Faktoren beinhaltet besondere Gefahren für die Bodenstruktur:

**Spätere Ernte, erhöhte Bodenfeuchtigkeit, lockerer Boden**

Die Ernte fällt in Mitteleuropa in eine Periode mit zunehmender Luftfeuchtigkeit und reduzierter Verdunstung. Die mittlere Bodenfeuchte ist folglich höher als etwa bei der Getreide- und Kartoffelernte. Der Zuckerrübenanbau findet bevorzugt in leichten bis mittelschweren Böden (Sand- bis Lehmböden) statt. Zuckerrüben gelten grundsätzlich als strukturverbessernde Kultur, sie hinterlassen einen aufgelockerten Boden. Die Bodenfestigkeit ist dadurch gering. Strukturschäden in Form von Kneten und Schmierern im Oberboden (eher tonige Böden) wie Verdichtungen bis unterhalb der Pflugsohle müssen unter diesen Bedingungen vermehrt befürchtet werden.

**Schwere Maschinen, hohe Radlasten, Mehrfachbefahrungen**

Das Gesamtgewicht liegt oft bei rund 40 t und übersteigt sogar die 60 t-Marke bei den grössten Maschinen. Auch bei den Radlasten sind Spitzenwerte im Bereiche von 10 t sowohl bei grossen Selbstfahrern als auch bei Ladebunkern zu finden. Trotz Breitreifen (bis 110 cm Pneubreite) ist die Verdichtungsgefahr mit nachhaltiger Wirkung unterhalb der Pflugsohle im Vergleich zu anderen Maschineneinsätzen und Kulturen am höchsten. Mit der Einführung der KRB-SF 6 mit bis zu drei Achsen und der Möglichkeit der spurversetzten Arbeitsweise kommt der Überfahrfrequenz und dem Fahrspurfächenanteil als Bodenbelastungskriterien besondere Bedeutung zu. Wegen der intensiven Mehrfachbefahrung bei der Bunkerentleerung am Feldrand (zum Beispiel bei Maximalgewichten!) sind Strukturschäden bis unterhalb der Ackerkrume zu befürchten.

**Kästchen 2**

Bodenschutz
<p>Grundsätzlich stützt sich der Bodenschutz auf das Vorsorgeprinzip. Hauptziel:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachhaltiges Ertragspotential durch einen möglichst minimalen Energieinput</li> </ul> <p>Für die Bewirtschaftung bedeutet dies:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlust an fruchtbaren Bodenteilchen möglichst gering halten.</li> <li>• Bodenstruktur nicht negativ verändern, damit das Wasser-, Nährstoff-, Luft- und Wärmeangebot den Bedürfnissen der Bodenlebewesen und Pflanzen optimal entsprechen kann.</li> <li>• Bioaktivität im Boden beibehalten. Den natürlichen «Bioreaktor» Boden vor allem durch eine schonende Bewirtschaftung fördern. Bei der Zuckerrübenenernte steht die Bodenstruktur diesbezüglich im Vordergrund.</li> </ul>

**Termindruck und Wetterrisiko**

Ein rationeller und wirtschaftlicher Einsatz der aktuellen Erntetechnik und Rübenablieferung erfordert eine hohe Auslastung. Durch den Zeitdruck und das erhöhte Witterungsrisiko in den Herbstmonaten erfolgt die Ernte oft ohne Rücksicht auf kritische Bodenverhältnisse.

**Erntesysteme und Bodenbeanspruchung (Tab. 2)**

In Tabelle 2 sind die für die Bodenbeanspruchung relevanten Kennwerte bedeutender Ernteverfahren unter feuchten Böden aufgeführt. Für entsprechende Modellrechnungen (DVWK, 1995; Diserens 2001) wurden sowohl die Daten von verbreiteten aktuellen Erntemaschinenarten als auch von nicht mehr angebotenen, aber noch in grossen Stückzahlen im Einsatz stehenden Typen herangezogen. Die höchsten **Radlasten** variieren von knapp 3 t (Bunker voll) beim gezogenen, einreihigen Vollernter (KRB 1) bis zu über 10 t bei den sechsstufigen selbstfahrenden Vollerntern (KRB-SF 6). Der mittlere **Kontaktdruck** übersteigt bei den schweren Maschinen mit Niederquerschnitt- oder Terrabereifungen 1,6 bar nicht. Bei den kleineren Vollerntern (ein- bis zweireihig) liegt der mittlere Kontaktdruck dagegen bei 1,8 bar und darüber. Es ist zu beachten, dass bei den schweren Maschinen infolge der hohen Radlasten und grossen Aufstandflächen der Druckabbau mit zunehmender Bodentiefe langsamer verläuft. So kann selbst bei einem geringen mittleren Kontaktdruck, aber hoher Radlast im Unterboden noch eine beträchtliche Druckspannung resultieren.

**Unterboden: Radlast ist entscheidend**

Bodenverformungen im Unterboden lassen sich durch die übliche Bodenbearbeitung nicht regenerieren, die Folgen sind dementsprechend schwerwiegender als bei Oberbodenverformungen einzustufen. Die Beurteilung stützt sich einerseits auf die Druckspannung bei 40 cm Bodentiefe und andererseits auf den Stabilitätswert des Bodens (auch Vorbelastung genannt; Diserens und Bucher 1997) in der gleichen Tiefe. Als Grenzwert gilt in dieser Bodentiefe eine Druckspannung von 1 bar für die zwei ausgewählten, repräsentativen Böden unter meistens feuchten Verhältnissen. Es sind dies ein halbfester Boden aus sandigem Lehm und weicher Boden aus lehmigem Ton (siehe Kästchen 3). Je mehr sich die Druckspannung dem Stabilitätswert (bzw. -punkt) annähert oder ihn übersteigt, desto wahrscheinlicher wird sich der Boden in dieser Tiefe verformen bzw. verdichten.

Mit halbvollem Bunker sind bei allen Ernteverfahren sowohl auf halbfestem als auch weichem Boden keine ausgeprägten Verformungen über dem festgelegten Stabilitätswert (Grenzwert) von 1 bar in 40 cm Bodentiefe zu erwarten. Beim LB und LB-SF verläuft die Druckspannung auf weichem Boden jedoch nahe zum Grenzbereich; ein Verdichtungsrisiko kann daher nicht völlig ausgeschlossen werden. Beim KRB-SF 6 (klein) und dem LB-SF sollte die halbe Bunkerfüllung unter feuchten Bodenbedingungen als oberste Limite betrachtet werden. Im Hinblick auf die Unterbodenverformung auf weichen Böden gilt bei allen KRB-SF und LB, LB-SF die halbe Bunkerfüllung als höchste «vernünftige» Belastung. Auch bei der Arbeit mit **vollem Rüben-**

**bunker** zeigt die Modellrechnung für die gezogenen Vollernter (KRB) keine Verformung im Unterboden. Beim KRB 3 und KRB 2 soll das Befahren mit vollem Bunker auf weichen Böden als Grenzfall betrachtet werden, da die Werte eher knapp unterhalb dem festgestellten Stabilitätswert liegen. Anders steht es bei den selbstfahrenden Vollerntern (KRB-SF) und den beiden Ladebunkern (LB, LB-SF). Auf halbfestem Boden übersteigen die Druckspannungswerte noch leicht die Vorbelastung, ausser beim KRB-SF 3. Auf weichen Böden sind die Bodenbeanspruchungen noch höher und damit auch die Wahrscheinlichkeit auf Bodenverformung grösser. Bei gefülltem Bunker übersteigen die Druckwerte den Stabilitätswert beim KRB-SF 6 (klein), bei den LB, LB-SF und dem KRB-SF 6 (gross) am stärksten.

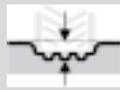
**Radlast und Pneuinnendruck**

Wie bereits erwähnt, liegt der mittlere Kontaktdruck bei den selbstfahrenden Vollerntern infolge der Breitbereifungen mit tiefem Pneuinnendruck im Vergleich zu den gezogenen Vollerntern oder dem Ladebunker meistens tiefer, wodurch der Oberboden eher geschont wird. Bezüglich der Unterbodenverformung werden

**Kästchen 3**

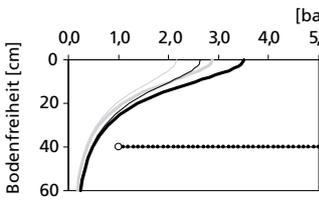
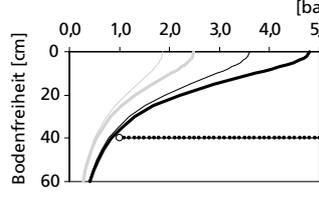
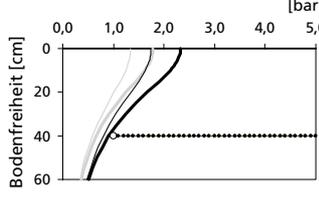
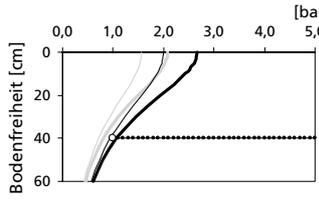
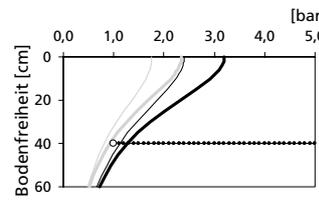
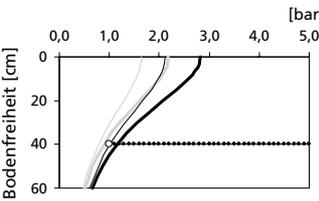
Begriffe «Boden»
<b>Oberboden:</b> die bis ca. 30 cm tief bearbeitete Krume des Ackers.
<b>Unterboden:</b> Teil des Bodens ab ca. 30 cm Tiefe, der durch die herkömmlichen Geräte unbearbeitet bleibt.
<b>Sand (S, s=sandig):</b> grobe Bodenfraktion ( $\emptyset > 50 \mu\text{m}$ ). Knirscht zwischen den Zähnen. Sandkörner sichtbar.
<b>Schluff (U, u=schluffig):</b> feine Bodenfraktion ( $\emptyset$ zwischen 2 und $50 \mu\text{m}$ ), wirkt seifig im feuchten Zustand und mehlig im trockenen Zustand.
<b>Ton (T, t=tonig):</b> feinste Bodenfraktion ( $\emptyset < 2 \mu\text{m}$ ), wirkt klebrig im feuchten Zustand.
<b>Lehm (L, l=lehmig):</b> Boden mit 20 bis 30 % Ton- und weniger als 50 % Schluffanteil.
<b>Leichter Boden (S, IS<sub>1</sub>):</b> Sandkörner sicht- und fühlbar, nicht oder schwach bindig, kaum formbar, rissig, brüchig.
<b>Mittelschwerer Boden (L, IU, sL, U):</b> wenig Sandkörner sicht- und fühlbar, knirscht zwischen den Zähnen, formbar, rissig, ausrollbar bleistift dick ( $\emptyset$ 2-7 mm).
<b>Schwerer Boden (T, IT, tL, tU):</b> kaum Sandkörner sicht- und fühlbar, knirscht kaum zwischen den Zähnen, gut formbar, glänzende Reibfläche, nageldick rollbar ( $\emptyset < 2 \text{ mm}$ ).
<b>Feuchter Boden:</b> Kälteempfindung auf dem Handrücken. Mittelschwere und schwere Böden lassen sich plastisch verformen (Klumpenbildung).
<b>Bodenstabilität:</b> mechanische Eigenschaft für die Anfälligkeit eines Bodens, sich als Folge einer Belastung zu verformen.
<b>Mittlerer Kontaktdruck [bar]:</b> berechneter Wert aus dem Quotient Radlast durch die Berührungsfläche des Reifens mit dem Boden.
<b>Druckspannung [bar]:</b> aktive Kraft in einer bestimmten Bodentiefe pro Flächeneinheit, die durch das Bodenwasser und die Kornaggregate übertragen werden.
<b>Stabilitätswert, Vorbelastung [bar]:</b> Mass in Druckeinheit für die momentane gültige Festigkeit des Bodens. Soll ein Druck grösser als der Stabilitätswert einwirken, verformt sich der Boden plastisch und liegt in einem neuen Gleichgewicht.
<b>Spurflächenanteil [%]:</b> Anteil einer bestimmten Fläche, die mindestens einmal befahren wurde.
<b>Überrollhäufigkeit:</b> Anzahl Radüberfahrten an einem bestimmten Ort innerhalb eines Arbeitsgangs.
<b>Spurtreue Fahrweise:</b> Überrollhäufigkeit hoch, Fahrspuranteil gering.
<b>Spurversetzte Fahrweise:</b> Überrollhäufigkeit relativ gering, Fahrspuranteil hoch.

**Kästchen 4**

Praktische Beurteilung des Bodenzustandes in der Zuckerrübenenernte; Empfehlungen			
Bodenzustand	Kriterien/Folgerungen	Mittelschwere Böden	Schwere Böden
<b>Weicher Boden:</b> generell sehr kritisch	<b>Bindigkeit:</b> <b>Eindringwiderstand<sup>1)</sup>:</b>  <b>Empfehlungen:</b>	Erde zusammenballbar 0 - 5 kg  KRB-SF/LB-SF/LB: max 1/2 Bunkerfüllung KRB 3r: Teilbunkerfüllung Fahrweise spurversetzt	Erde knetbar, klebrig bis breiig 0 - 5 kg  KRB-SF/LB-SF/LB: max 1/2 Bunkerfüllung KRB 1r/3r: Einsatz einschränken (Fahrspurfläche 100%) Fahrweise spurtreu
<b>Halbfester Boden:</b> generell kritisch	<b>Bindigkeit:</b> <b>Eindringwiderstand:</b> <b>Empfehlungen:</b>	Erdteile zerbröckeln leicht zwischen den Fingern 5 - 8 kg KRB-SF/LB-SF/LB: Teilbunkerfüllung Fahrweise spurversetzt	Erdteile zerbröckeln zwischen den Fingern 5 - 8 kg KRB-SF/LB-SF/LB: Teilbunkerfüllung KRB 1r/3r: Einsatz einschränken (Fahrspurfläche 100%) Fahrweise spurtreu
<b>Fester Boden:</b> kaum problematisch (selten auffindbar)	<b>Bindigkeit:</b> <b>Eindringwiderstand:</b> <b>Empfehlungen:</b>	Erdteile brechen in Stücke auseinander – Sandkörner reissen leicht ab > 8 kg Fahrweise spurversetzt	Erdteile werden mit Mühe in kantigen Fragmenten auseinandergebrochen > 8 kg Fahrweise spurtreu
<b>Alle Verhältnisse</b>	<b>Nachkontrolle:</b>	 <b>Ein- oder mehrfach Befahren max. Spurtiefe über 6-7 cm generell vermeiden</b>	

<sup>1)</sup> Schraubenziehertest (Diserens 2001), (siehe Kästchen 5)

Tab. 2: Bodenbeanspruchung je nach Maschinenart/Verfahren unter feuchten Bodenverhältnissen

Maschinenart/Verfahren	Bodenbeanspruchung Beurteilung bezogen auf Druckspannung und Fahrspuranteil		Druckausbreitung <sup>1)</sup> Druckspannung [bar] <sup>2)</sup>	Ausgangsgrösse	
	Mittelschwerer Boden weich   halbfest	Schwerer Boden weich   halbfest		Maschinentyp (Beispiel)	F = Befahrene Fläche [%] PD = Pseudimension DR = Pneuinnendruck KD = Mittl. Kontaktdruck R = Max. Radlast
<p>KRB 1 (mittel)</p>  <p>Köpfrdebunker gezogen, 1-reihig, mittel</p>	○	●		Kleine 5002 G: 5730 <sup>a)</sup> kg B: 2780 kg R: 2900 kg	F: 100% <sup>b)</sup> PD: 12.5/80-18 DR: 2,7 bar KD: 1,76 bar
<p>KRB 2</p>  <p>Köpfrdebunker gezogen, 2-reihig</p>	○	○		Stoll V202 G: 10250 <sup>a)</sup> kg B: 6450 kg R: 5200 kg	F: 77% <sup>b)</sup> PD: 500/60-26.5 DR: 2,2 bar KD: 2,40 bar
<p>KRB 3</p>  <p>Köpfrdebunker gezogen, 3-reihig</p>	○	●		Stoll V300 G: 18750 <sup>a)</sup> kg B: 11000 kg R: 7600 kg	F: 100% <sup>b)</sup> PD: 800/45-30.5 DR: 1,3 bar KD: 1,17 bar
<p>KRB-SF 3</p>  <p>Köpfrdebunker selbstfahrend, 3-reihig</p>	○ (1/2)	●		Stoll V300 SF G: 20950 kg B: 11000 kg R: 9150 kg	F: 100% PD: 800/45-30.5 DR: 1,5 bar KD: 1,33 bar
<p>KRB-SF 6 (klein)</p>  <p>Köpfrdebunker selbstfahrend, 6-reihig, klein</p>	○ (max. 1/2)	○ (max. 1/2)		Kleine SF10 G: 25000 kg B: 9000 kg R: 10765 kg	F: 47% PD: 710/70 R 38 DR: 2,4 bar KD: 1,60 bar
<p>KRB-SF 6 (mittel)</p>  <p>Köpfrdebunker selbstfahrend, 6-reihig</p>	○ (max. 1/2)	○ (max. 1/2)		Holmer G: 38450 kg B: 17000 kg R: 10000 kg	F: 75-95% <sup>d)</sup> PD: 800/65 R 32 DR: 2,4 bar KD: 1,41 bar

\* bei spurtreuer Fahrweise (spurversetzt ungünstiger)

- Unterbodenverdichtung
- Schmierien
- Wasserstau
- Risiko: hoch gering

- Geringe ● Erhöhte Bodenbeanspruchung
- Geringe Bodenbeanspruchung mit Teilbunkerfüllung
- = Füllungsanteil

- <sup>1)</sup> Überschneidet die Druckausbreitungskurve die Gerade, entsteht eine Verdichtungsgefahr im Unterboden
- <sup>2)</sup> Mit maximalem Kontaktdruck

- a) Mit vollem Bunker, ohne Zugmaschine
- b) Mit Zugmaschine
- c) Ohne Zugmaschine
- d) Spurtreu und spurversetzt
- e) Mit und ohne Ladebunker

Maschinenart/Verfahren	Bodenbeanspruchung Beurteilung bezogen auf Durchspannung und Fahrspuranteil				Druckausbreitung <sup>1)</sup> Druckspannung [bar] <sup>2)</sup>	Ausgangsgrösse	
	Mittelschwerer Boden		Schwerer Boden			Maschinentyp (Beispiel)	F = Befahrene Fläche [%]
	weich	halbfest	weich	halbfest		G = Gesamtgewicht B = Bunkerinhalt R = Max. Radlast	PD = Pseudimension DR = Pneuinnendruck KD = Mittl. Kontaktdruck ZR = Zwillingräder
KRB-SF 6 (gross)  Köpfrdebunker selbstfahrend, 6-reihig	                        						

Abb. 18a: Einfluss des Pneuinnendruckes eines KRB SF 6 (mittel) auf die Aufstandfläche und auf die Druckspannung im Unterboden (40 cm Tiefe) - 800/65R32 - 7790 kg

Abb. 18b: Einfluss der Radlast eines KRB SF 6 (mittel) auf die Aufstandfläche und auf die Druckspannung im Unterboden (40 cm Tiefe) - 800/65R32 - 2.4 bar

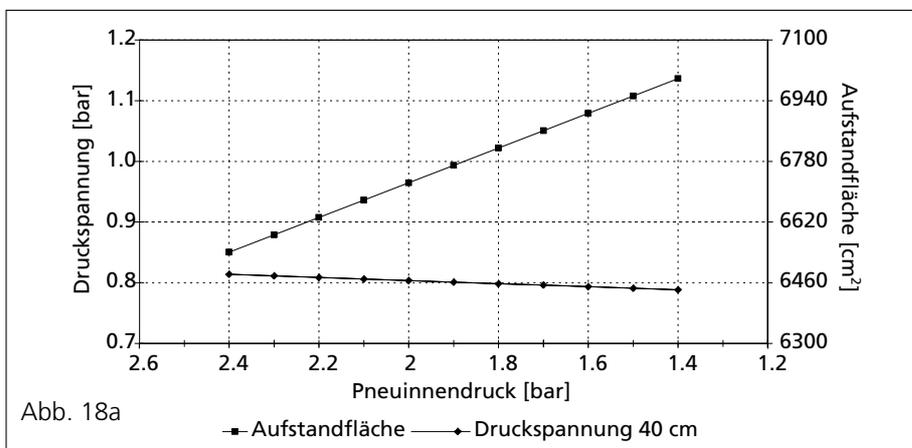


Abb. 18a

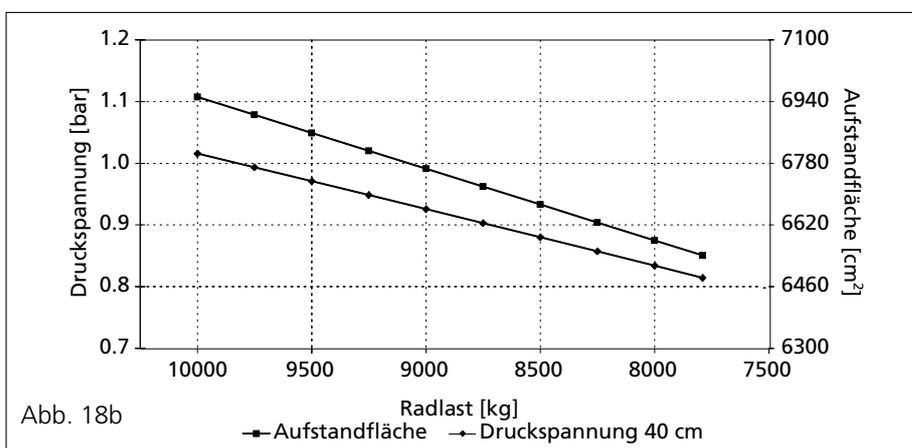


Abb. 18b

die Zusammenhänge zwischen Radlast, Druckspannung und Aufstandfläche in den Abbildungen 18 a und 18 b am Beispiel des Vorderrades eines KRB-SF 6 (mittel) gezeigt. Daraus geht hervor, dass die Radlast im Vergleich zum Pneuinnendruck einen grösseren Einfluss auf den Unterboden ausübt. Wird der Pneuinnendruck von 2,4 auf 1,4 bar neu eingestellt (42 % Druckabnahme), so nimmt die Aufstandfläche bei konstanter Radlast (7790 kg – halbe Bunkerfüllung) um etwa 7 % zu und der mittlere Kontaktdruck um etwa 6 % ab. Bei 40 cm Bodentiefe beträgt die Druckabnahme nur noch etwa 3 % (Abb.18 a). Wird dagegen der volle Bunker des KRB-SF 6 halb geleert, so nimmt die Radlast um etwa 22 % und die Kontaktfläche um etwa 6 % ab, die Druckabnahme bei 40 cm Bodentiefe geht aber um 20 % zurück (Abb. 18 b). Eine Reduktion des Pneuinnendruckes von 2,4 auf 1,2 bar bewirkt zusätzlich, dass sich die Druckabnahme in 40 cm Bodentiefe von 20 auf 22 % verringert. Soll die Struktur im Unterboden wirkungsvoll geschützt werden, muss in erster Linie die Radlast verkleinert, das heisst der Bunker früher entleert werden.

Ein **Druckregelsystem** kann im Hinblick auf die Oberbodengefährdung, Fahrstabilität und Reifenschonung sinnvoller als im Hinblick auf die Unterbodengefährdung eingesetzt werden. Der Druckregelung kommt eine grössere Bedeutung bei der Gülle-, Mist-, Klärschlamm- und Kompostausbringung zu, da hier besonders viele Strassenfahrten bei Höchstgewichten (!) vorkommen.

**Oberboden: Fahrspuranteil, Überrollhäufigkeit, spurversetzte Fahrweise**

Sowohl ein kleiner Fahrspurflächenanteil als auch eine geringe Überrollhäufigkeit sind mit Bodenschonung gleichzusetzen. Diese beiden Zielsetzungen stehen in einem gewissen Widerspruch. Laufen die Räder nebeneinander (zur Verminderung der Überrollhäufigkeit), wie es bei den Fahrsystemen mit versetzbarer Hinterachse bei bestimmten sechsreihigen, selbstfahrenden Köpfrödebunkerarten (KRB-SF 6) der Fall ist, dann wird der **Fahrspuranteil** grösser (Abb. 19 a–b). Mit diesen neuartigen Fahrwerken wird versucht, die Maschinenlast auf eine möglichst grosse Feldfläche zu verteilen, um einerseits die Federwirkung des Bodens durch eine verminderte **Überrollhäufigkeit** zu schonen und andererseits den Boden gleichmässig zu befahren, etwa auch um günstigere Voraussetzungen für die Herbstbestellung bei Getreide zu erreichen. Da bis jetzt keine eindeutigen Unterschiede über die Porenvolumenveränderung unterhalb der Pflugsohle (ab 25 cm) zwischen versetzter und spurtreuer Fahrweise (bzw. zwischen einer und max. zwei Überrollungen), festgestellt

worden ist (Brunotte et al. 2000), stellt sich die Frage, ob die spurversetzte Fahrweise unter allen Bodenverhältnissen anzuwenden ist. Vorausgesetzt wird dabei, dass die Gefahr einer Unterbodenverdichtung durch angepasste Bunkerfüllung stark vermindert ist. Eine differenzierte Betrachtung ist hier erforderlich:

- **Wenig aggregierte, bindige Böden** können schon durch relativ kleine Belastungen verdichtet werden. Wegen der grösseren Körnung sind sie aber wenig anfällig auf «Schmierschäden». Soll die Wasserinfiltration trotz des Befahrens weiter gewährleistet werden, dann ist es sicher sinnvoll, die spurversetzte Fahrweise (Hundegang) zur Vermeidung hoher Verdichtung im Oberboden zu nutzen (Abb. 19 b-c).
- Auf eher **bindigen, aggregierten Böden**, wo die Last zum Teil durch das Porenwasser getragen wird, besteht eine besonders hohe Anfälligkeit auf Strukturschäden in Form von Schmieren, Knetung und Homogenisierung. Durch das Abrollen des Reifens auf dem Boden werden hier die Makroporen in den Reibungsflächen geschlos-

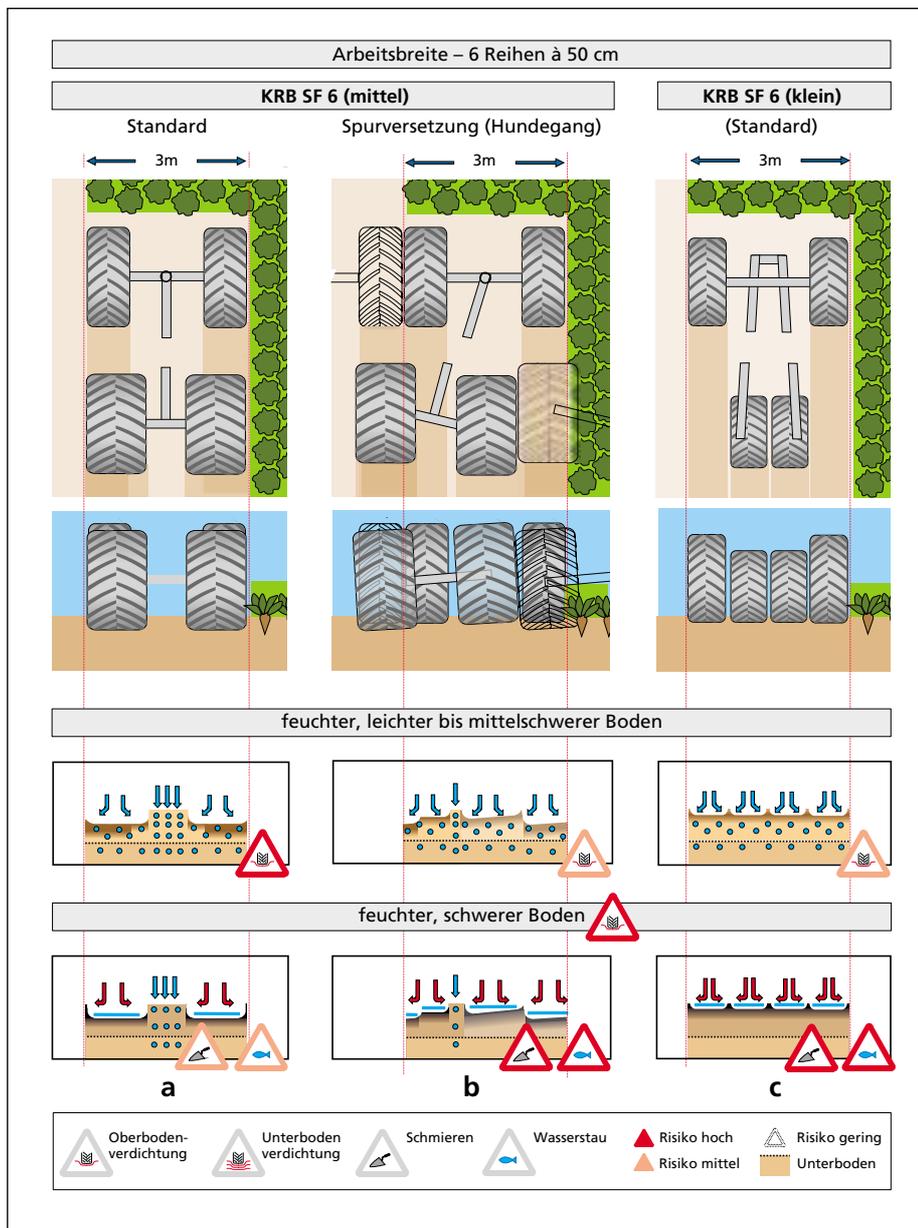


Abb. 19: Oberbodengefährdung im Hinblick auf verschiedene Fahrwerkskonzeptionen bei sechsreihigen, selbstfahrenden Köpfrdebunkern - a) spurtreu, b) spurversetzt, c) ohne Doppelüberrollung.

sen. Das Wasser wird den Oberboden kaum mehr durchdringen. Verschlammungs-, Vernässungs- und Erosionsgefahr am Hang können die Folgen sein. Die spurtreue Fahrweise hinterlässt mindestens einen aufgelockerten unbefahrenen Zwischenbereich, der die Wasserinfiltration fördert (Abb.19 a). Bei normaler wie auch versetzter Fahrweise kann eine quer montierte Spiralwalze oder ein Zustreifer hinter den Hinterrädern zum Einebnen der Bodenoberfläche vorteilhaft sein, um ein Stauen des Wassers in den Fahrspuren zu vermeiden (Abb. 20).



Abb. 20: Mit einer Spiralwalze zum Einebnen der Bodenoberfläche kann die Wasserinfiltration verbessert werden.

Im Hinblick auf den Fahrspurfächenteil zeigt das **Zweiphasenverfahren** (zum Beispiel KR+LB) in vielen Fällen Vorteile. Über die Hälfte der lockeren Feldfläche bleibt hier spurfrei. Zwischen den beiden Arbeitsphasen kann der aufgelockerte Boden in der Regel beträchtlich abtrocknen. Der Einsatz des schweren Ladebunkers erfolgt im Vergleich zum Vollernteverfahren somit unter günstigeren Bodenbedingungen.

**Boden prüfen, dann entscheiden**

Die Bindigkeit und der Eindringwiderstand sind zwei Kriterien zur Beurteilung der Bodenverformbarkeit. Dabei nimmt auch die Bodenfeuchte hier Einfluss. Diese Kriterien mit Folgerungen beim Einsatz von Zuckerrübenerntemaschinen sind in Kästchen 4 für mittelschwere und schwere Böden zusammengestellt.

Auf **leichten Böden mit hohem Sandgehalt** (>50 %, Tongehalt <10 %) sind weniger Strukturschäden in Form von Schmieren oder Kneten zu erwarten. Verschlammung oder Verkrusten kommen kaum vor. Durch den hohen Grobporanteil lassen sich diese Böden jedoch leicht verdichten. Durch die intensive Bodenbewirtschaftung ist zu erwarten, dass der sandige Unterboden weitgehend verfestigt ist. Bleibt der Oberboden feucht oder trocken aber nicht gesättigt, kann die Oberbodenfestigkeit als halbfest oder fest betrachtet werden. Die Empfehlungen für mittelschwere Böden können hier übernommen werden.

Auf **Anmoorböden** ist die Tragfähigkeit äusserst gering, sie vermindert sich mit zunehmendem Humusgehalt. Auch **seeckreidehaltige Böden** sind bei Nässe wenig tragfähig. Es können hier Fahrspuren entstehen, die sich aber kurz nach dem Befahren wieder schliessen. Von daher besteht für die oberliegende organische Schicht praktisch keine Strukturgefährdung, das Problem liegt vielmehr beim Festfahren. Im Hinblick auf die Tragfähigkeit kommen Anmoorböden für schwere selbstfahrende Vollerntemaschine kaum in Frage. Bei meliorierten Böden können zusätzliche Drainageleitungen als Folge hoher Belastungen (SF 6) vorkommen. In erster Linie müssen diese Böden nicht im Hinblick auf die Bodenverdichtung, sondern im Hinblick auf die Moorsackung mit einer entsprechenden stark zurückhaltenden Bodenbearbeitung und angepasster Fruchtfolge geschützt werden.



Die Weiterentwicklung bei der Erntetechnik richtet sich hauptsächlich auf grosse selbstfahrende Maschinen. Bei Köpfrdebunkern dürften in Zukunft weitere Zunahmen bei den maximalen Maschinengewichte zu erwarten sein. Breitreifen und spurversetzte Fahrweise bieten Möglichkeiten, um die Gewichte besser auf die Feldfläche zu verteilen. Bei den heutigen Arbeitsbreiten um drei Meter bzw. sechs Reihen führt dies beim Anschlussroden aber unweigerlich wieder zu Mehrfachbefahrungen. Warum könnte in Zukunft nicht auch die Arbeitsbreite zum Beispiel auf neun Reihen erhöht werden, um diese technischen Innovationen in Verbindung mit einer gezielten Erntestrategie voll zu nutzen? Für den Strassentransport solcher Aggregate liegen bei Köpfrdeladern bereits Lösungen vor. Für einen wirkungsvollen Bodenschutz sollten nach wie vor folgende Grundsätze beachtet werden:

→ Feuchte Bodenverhältnisse: Unterbodenverdichtung kann durch **angepasste Bunkerfüllung** weitgehend vermieden werden.

→ Je nach Bodenart lassen sich Schäden an der Oberbodenstruktur mit **speziellen Fahrwerken** und gezieltem Einsatz der **variablen Fahrweise** in Grenzen halten.

**Stark konsolidierte (bzw. verdichtete) Böden** lassen selbst bei hohen Belastungen und kritischen Bodenverhältnissen keine weiteren Verformungen erwarten. Eine generelle Beeinträchtigung des Ertragspotentials kann dadurch nicht ausgeschlossen werden.

## Literatur

Brunotte J. et al. 2000. Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. Zuckerrübe, 49.Jg. (1) 2000: 34–40.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), 1995. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil I: Mechanische Belastbarkeit 234.

Diserens E. und Bucher F., 1997. Bodenverdichtung aus der Sicht der Bodenmechanik. Agrarforschung 2. 83–86.

Diserens E., 2001. A simple modelling method for the calculation of pressure distribution in moist arable land for practical application. International Conference on Sustainable Soil management for Environmental Protection. Soil Physical Aspects Florence, 2–7 July 2001.

Eichhorn H., 1999. Landwirtschaftliches Lehrbuch Landtechnik. S. 338, Tab. 64. Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

Spiess E. und Heusser J., 1984. Arbeitsqualität von Zuckerrübenerntemaschinen, Vergleichstest Bellechasse. FAT-Blätter für Landtechnik Nr. 253.