

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 52 (1990)
Heft: 4

Artikel: Maistrocknung mit Luft-Luft-Wärmepumpe
Autor: Baumgartner, Jürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1081147>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Maistrocknung mit Luft-Luft-Wärmepumpe

(FAT-Bericht Nr. 380)

Jürg Baumgartner, FAT, Tänikon

Landwirte in der Siloverbotszone konnten den gehäckselten Vollmais im Jahre 1988 in einer Grastrocknungsanlage zu einem durchschnittlichen Preis von Fr. 20.20 trocknen lassen. Als Alternative bleibt die hofeigene Trocknung mit der Luft-Luft-Wärmepumpe, mit der Luftentfeuchter-Wärmepumpe (siehe FAT-Bericht Nr. 370) oder mit Luftanwärmung (zum Beispiel Warmluftofen mit Ölfeuerung). Die Luft-Luft-Wärmepumpe trocknete mit einem Satztrockner eine Tonne Nassgut pro Tag. Beim Trocknen von Zuckerrüben-Pressschnitzeln sank die Leistung auf rund die Hälfte; der Stromverbrauch erhöhte sich über das Dreifache.

Anschliessend an die Heu- und Emdtrocknung (siehe FAT-Bericht Nr. 324) versuchten wir mit der Luft-Luft-Wärmepumpe und einem Spezialgerät gehäckselten Vollmais (Silomais) zu trocknen. Weil in einem Satztrockner

(Abb. 1) die oberste Schicht beim Trocknen zusammenpappt, muss sie täglich ein- bis zweimal umgeschichtet werden. Ein uns zur Verfügung gestelltes Spezialgerät sollte das Umrühren mechanisch übernehmen. Diese

Konstruktion befriedigte nicht. Im folgenden Jahr kam ein Trommeltrockner (Abb. 2) zum Einsatz. Obwohl dessen Trocknungsleistung gut war, liess man auch diese Idee wieder fallen. Zuviel feines, feuchtes und trockenes Gut passierte den letzten Filter und verliess den Trockner. Das Reiben der Maisteile aneinander verursachte eine zusätzliche Mahlwirkung, so dass sich überall Staub ablagerte. Schliesslich wurde dann in der nachfolgenden Saison doch ein Satztrockner gemäss Abb. 1 mit der Luft-Luft-Wärmepumpe eingesetzt.

Technische Daten und Preis der Anlage

Für die Maistrocknung muss nach Angabe der Lieferfirma die Grundfläche des Satztrockners ungefähr die Hälfte der Heustockgrundfläche betragen.

Der Satztrockner wurde in die bestehende Belüftungsanlage mit 50 m² Grundfläche eingebaut. Sie bestand aus folgenden Teilen: je 24 m² Rost und Lochblech, zwei Einwandungen und einem Luftzuführkanal. Der Investitionsbedarf für diesen Satztrockner betrug rund Fr. 5000.-, wovon Fr. 1700.- Arbeitskosten.

Als Luft-Luft-Wärmepumpe wurde ein modifiziertes Modell eingesetzt:

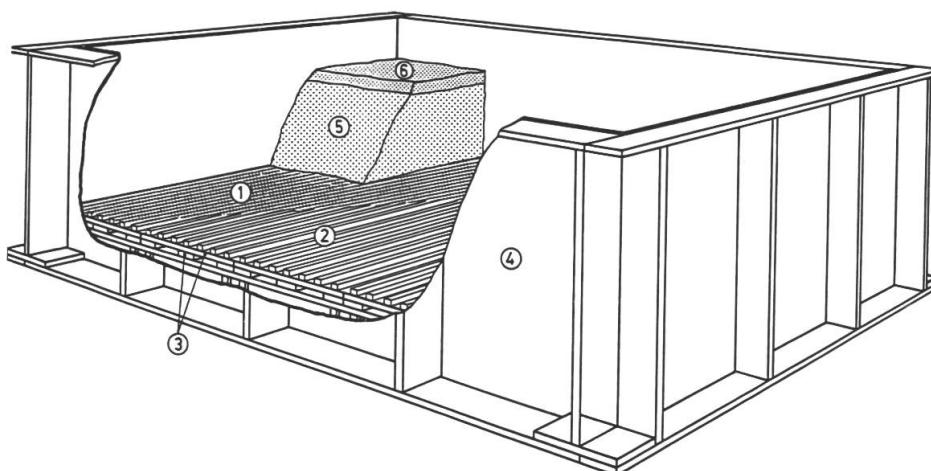


Abb. 1:

Satztrockner für gehäckselten Vollmais: 24 m² Grundfläche und 2 m Höhe.

1 = Drahtgitter oder Lochblech

4 = Einwandung

2 = Lattenrost oder Heubelüftungsroste

5 = gehäckselter Vollmais

3 = Tragbalken

6 = feuchte Zone

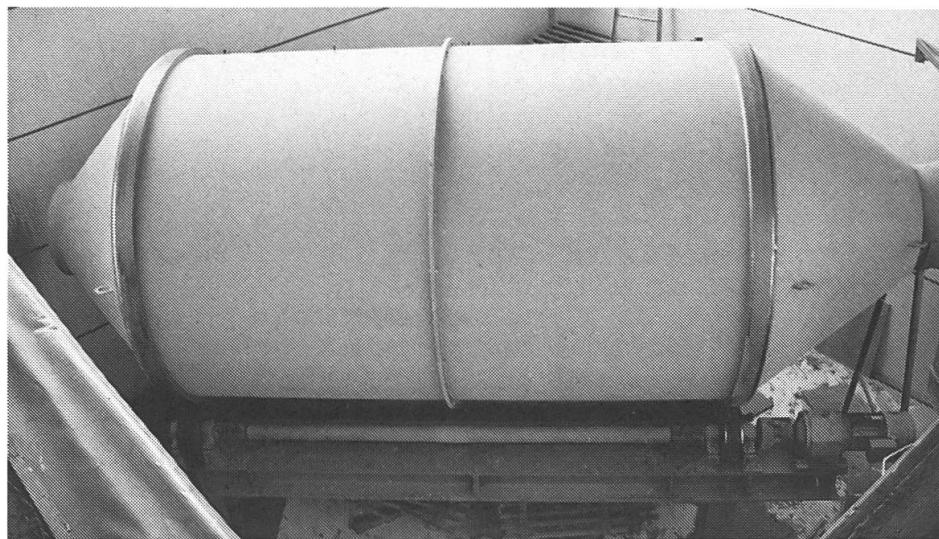


Abb. 2: Der Trommeltrockner befriedigte nicht, weil viel feuchtes, feines Gut durch das Sieb an die Wand geblasen wurde und ausserhalb der Trommel nachgärte.

Typ des Gerätes: Hetroc HE 100

äußere Abmessung:

Breite: 1800 mm

Höhe:

2 x 1130 mm 2260 mm

Länge: 900 mm

Heiz- und Kühlregister:

Breite: 1500 mm

Höhe: 1060 mm

Fläche: 1,59 m²

3 Rohrreihen Heizregister

6 Rohrreihen Kühlregister

2 Abluftventilatoren

Nennleistung Gerät mit Abluftventilatoren: 7 kW

Preise 1989:

Gerät: Fr. 17 350.-

Luft-Gliederklappe: Fr. 1970.-

Kontrollmanometer: Fr. 96.-

3,2 t mit sehr feuchtem Mais von 26 bis 27 % TS vorgenommen (Nr. 4 und 5). Nach erneuter Leerung erfolgte die Abtrocknung von 2,1 t Zuckerrübenschitzel. Ein Greifer mit Maisschaufel beschickte und leerte den Satztrockner (Abb. 3). Nach dem Einfüllen wurde von Hand mit der Gabel feinverteilt und täglich 20 bis 30 Minuten umgeschichtet. Tab. 1

enthält die Ergebnisse der Abtrocknungsversuche von Mais und Zuckerrübenschitzel.

Im Gegensatz zur Lufentfeuchter-Wärmepumpe arbeitete die Luft-Luft-Wärmepumpe mit reduzierter Luftmenge. Dies bedingte, dass entweder ein zweiter Ventilator verfügbar oder dass die Drehzahl des Lüfter-Antriebmotors regelbar war. Auch die käufliche Luft-Gliederklappe (Mehrpreis Fr. 1970.-) drosselte die Luftmenge (Abb. 4).

Die reduzierte Luftmenge bewirkte eine Luftanwärmung um 8 bis 12°C, und das Sättigungsdefizit der Trocknungsluft erhöhte sich um das 3,6 bis 7,6-fache. Die warme Luft vermochte pro m³ Luft 2,7 bis 3,8 g, im Mittel 3,1 g Wasser zu entfernen. Diese mit Wasserdampf hochgesättigte Luft verliess den Mais zeitweise als sichtbarer Dampf, der sich an kalten Wänden und Bauteilen des Trockners niederschlug. Ein Teil des Dampfes kondensierte auf der Oberfläche des Gutes und bewirkte eine zirka 5 cm dicke feuchte Schicht. Diese blieb bis

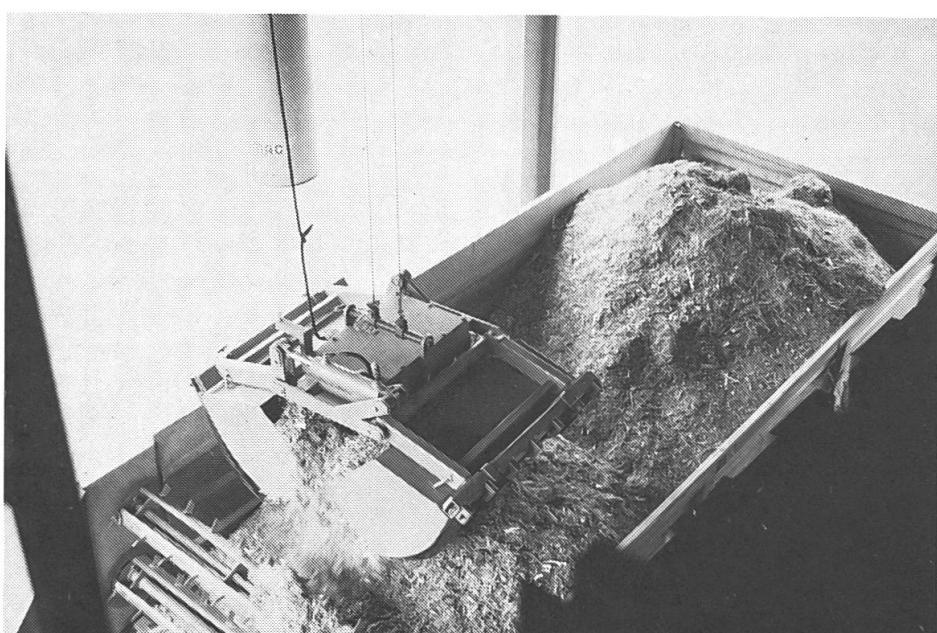


Abb. 3: Das Entleeren des Satztrockners und das Befüllen des Dosierwagens erfolgten problemlos.

Maistrocknung

Die Versuche Nr. 1 bis 3 (Tab. 1) im Herbst 1988 umfassten die Abtrocknung von relativ trockenem gehäckseltem Vollmais mit 32 bis 40 % TS (Trockensubstanzgehalt) in Mengen von 2,9 bis 3,5 t. Nach Leerung des Trockners wurden nochmals zwei Füllungen von je

Tabelle 1: Übersicht der Versuchsresultate 1988 (Durchschnittswerte)
gehäckselte Maispflanze und Zuckerrübenschnitzel (ZR)

Versuch-Nr.		1	2	3	4	5	ZR
Einfüllgewicht	kg	3538	2887	2920	3206	3240	2052
TS nach Einfüllung	%	32,4	39,6	40,7	25,9	26,8	19,0
TS nach Trocknung	%	93,2	84,6	88,1	40,4	89,6	84,4
Lufteintritt an der Wärmepumpe:							
Lufttemperatur	°C	14,3	14,4	10,9	4,4	5,2	5,2
Luftfeuchtigkeit	%	83,1	84,4	84,3	71,4	79,5	83,0
Sättigungsdefizit (100%)	g/m ³	2,5	2,2	1,7	2,0	1,5	1,3
Lufteintritt am Ventilator:							
Lufttemperatur	°C	24,1	25,1	22,7	12,7	15,8	15,4
Luftfeuchtigkeit	%	45,2	43,4	40,0	41,2	40,2	42,4
Sättigungsdefizit	g/m ³	13,2	14,1	12,9	7,1	9,1	8,0
Erhöhung Sättigungsdefizit:							
Absolut	g/m ³	10,7	11,9	11,2	5,1	7,6	6,7
Relativ	%	528	641	759	355	607	615
Laufzeit Belüftungsventilator	h	67,8	37,7	56,1	48,4	150,1	69,1
Laufzeit Wärmepumpe	h	67,5	37,7	56,1	48,4	140,0	96,1
Totaler Wasserentzug	kg	2308	1405	1571	1146	3396	1590
Stündlicher Wasserentzug	kg/h	34,0	37,3	28,0	23,6	22,6	16,5
Luftmenge Ventilator	m ³ s	3,0	2,7	2,3	2,5	2,0	2,1
Spez. Wasserentzug	g/m ³	3,2	3,8	3,3	2,7	3,1	2,2
Druck unter Gut inkl. Lochblech	mbar	2,5	3,0	3,3	1,4	1,9	0,2
Höhe nach Einfüllen	m	0,56	0,95	1,21	0,38	0,75	0,14
Registerdruckverlust inkl. Drosselung	mbar	1,2	1,0	0,9	1,5	2,3	3,7
Leistungsbedarf Ventilator	kW	2,0	2,0	2,0	1,7	1,9	1,9
Leistungsbedarf Wärmepumpe	kW	7,0	7,2	7,3	6,4	7,6	7,6
Spez. Stromverbrauch	Wh/kg H ₂ O	261	244	331	343	393	572
Stromverbrauch	kWh/dt tr. Gut	49,1	25,4	38,5	19,1*	137,9**	197,0

* erst auf 40% TS getrocknet

** inkl. Fertigtrocknen des Versuches Nr. 4

zum Ende der Trocknung erhalten. Diese Schicht musste dann gut mit dem trockenen Mais vermischt werden. Eine am Schluss aufgebrachte, zirka 10 cm dicke Schicht aus gehäckseltem Stroh erfüllte auch den Zweck, das restliche Wasser aus dem Mais zu entfernen.

Der spezifische Stromverbrauch schwankte von 244 bis 393 Wh pro kg verdampftes Wasser. Kältere Temperaturen beim Lufteintritt in das Heizregister oder die Endtrocknung von zwei bis drei Füllungen bewirkten die höheren Werte. Der kWh-Verbrauch pro dt

(100 kg) Trockengut streute stark, da nicht alle Füllungen auf dieselbe Endfeuchtigkeit abtrockneten und die Klimabedingungen unterschiedlich waren. Im Mittel berechneten wir 57,8 kWh Stromverbrauch pro 100 kg Trockengut. Gehäckselter Mais setzt sich im Gegensatz zu Heu praktisch nicht, so dass die Höhe nach dem Einfüllen gleich bleibt. Mit zunehmendem Trocknungsgrad fiel der Druck unter dem Gut ab. Die Zahlen in Tab. 1 sind Mittelwerte und schwankten zum Beispiel im ersten Versuch von 3,4 bis 2,1 mbar. Der Belüftungsventilator saugte

die Luft über das Heizregister an. Dies verursachte einen zusätzlichen Druckverlust von 1,0 bis 3,7 mbar. Die höheren Drücke traten beim manuellen Schließen der Luft-Gliederklappe auf. Durch die gewollte Drosselung des Luftstromes stieg die Temperatur der Abluft beim Austritt aus dem Mais bzw. beim Eintritt in das Kühlregister. Damit wurde ein Vereisen der Kühlrohre verhindert. Mit Hilfe des Kontrollmanometers (Mehrpreis Fr. 96.-) stellte man die Klappen nach der Temperatur ein. Bei Aussentemperaturen um den Gefrierpunkt entstand je-

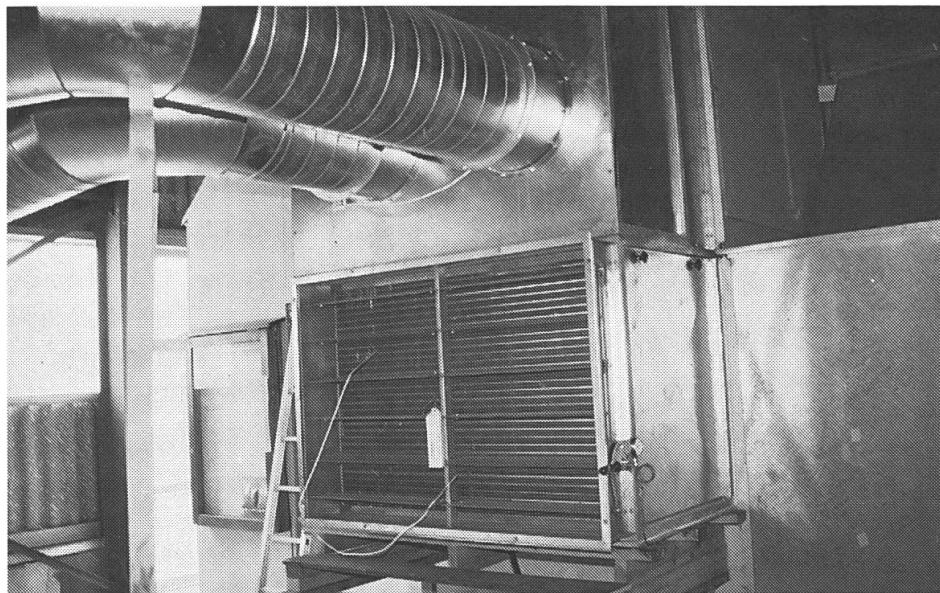


Abb. 4: Eine Klappe drosselte die angesaugte Luft vor dem Heizregister der Wärmepumpe. Zudem reduzierte ein Variator die Drehzahl und damit die Luftmenge des Lüfters.

doch die Gefahr, dass sich trotzdem Eis am Kühlregister bildete.

Damit auch die Maisversuchsresultate mit anderen Geräten vergleichbar sind, werden die Stundenwerte der Erhöhung des Sättigungsdefizites, des Wasserentzuges und des TS-Gehaltes klassiert (Tab. 2).

(Tagesstrom Fr. -18, Nachtstrom Fr. -09) kostete dies Fr. 29.55. Bei einer Grastrocknungsanlage bezahlte man im Durchschnitt Fr. 29.60 als Trocknungslohn.

Schlussfolgerungen

Die Versuche Nr. 1 bis 5 mit gehäckseltem Vollmais zeigten,

dass die Luft-Luft-Wärmepumpe in Verbindung mit einem Satztrockner geeignet war, ungefähr 1 t Nassgut mit 30% TS pro Tag zu trocknen. Das Trocknen von Zuckerrübenschitzeln ist dagegen nicht zu empfehlen, weil der Energieaufwand mit beinahe 200 kWh pro 100 kg trockene Schnitzel sehr hoch war und zirka dem Trocknungslohn in der Grastrocknungsanlage entsprach. Der Stromverbrauch beim Mais-trockner betrug durchschnittlich 57,8 kWh pro 100 kg Trockengut bei einem mittleren TS-Gehalt von 33% des Nassgutes. Das ergab Stromkosten von Fr. 8.65 pro dt.

Der durchschnittliche Wasserentzug belief sich auf 27,3 kg/h bei einem Leistungsbedarf von 7,2 kW für die Wärmepumpe. Mit diesem Entzug kann der Satztrockner pro Saison zweimal befüllt werden. Dies reicht aus für eine Trocknungskapazität von 33 t Nass- oder 11,25 t Trockengut bei einer Trocknungs dauer von 33 Tagen.

Der zusätzliche Investitionsbedarf für den Satztrockner und die Luft-Gliederklappe bezifferte sich auf

Trocknung von Zuckerrübenschitzeln

Tab. 1 enthält auch die Resultate eines Abtrocknungsversuches von Pressschnitzeln. Der Versuch fand ab Mitte November statt, als Schnitzel zur Verfügung standen. Es konnte gerade noch ein Versuch durchgeführt werden (Ver eisungsgefahr des Kühlregisters), bevor die Außentemperaturen unter Null sanken.

Der einzelne Abtrocknungsversuch benötigte einen hohen Stromverbrauch von 197 kWh pro 100 kg trockene Schnitzel. Bei einem Strompreis von Fr. -15

Tabelle 2: Häckselmais-Trocknung: Erhöhung des Sättigungsdefizites der Zuluft durch die Wärmepumpe und der Wasserentzug in g/m³ Luft, abhängig vom TS-Gehalt des Mais

TS in %	Sättigungsdefizit der Zuluft (SD) und Wasserentzug WE in g/m ³	
	kleiner als 2,5	grösser als 2,5
kleiner als 30	6,1 / 2,1	13,6 / 3,0
30 - 40	7,2 / 2,7	12,1 / 3,2
40 - 50	11,0 / 3,8	18,8 / 4,7
50 - 60	10,9 / 3,7	18,8 / 4,3
60 - 70	11,1 / 3,6	16,3 / 4,4
70 - 80	9,8 / 3,0	14,7 / 3,4
grösser als 80	9,6 / 2,6	17,4 / 3,3
Durchschnittliche Stromaufnahme der Wärmepumpe: 7,2 kW		

rund Fr. 7000.-. Daraus resultierten jährliche Kosten von Fr. 835.- (6,7% Abschreibung = Fr. 467.-, 3,6% Zins = Fr. 252.-, 1,5% Reparaturen = Fr. 105.-, 0,15% Versicherung = Fr. 11.-). Unter Einbezug der Stromkosten ergab dies Fr. 16.05 je dt Trockengut. Die Ko-

stendifferenz zum Trocknungslohn einer Grossanlage betrug somit Fr. 4.15 pro 100 kg trockenem Mais oder Fr. 467.- pro Jahr. Damit kann ein Teil der hohen Fixkosten der Wärmepumpe von Fr. 2260.- (FAT- Bericht Nr. 324) abgedeckt werden. Die Mehrauf-

wendungen, verursacht durch Befüllen und Entleeren des Satztrockners, Umschichten des Mais und Überwachen der Anlage, werden durch Arbeitszeinsparungen beim Transport des Nassgutes über die Grossanlage aufgewogen.

Konkurswaren-Verkauf



2 Jahre Garantie

Werkzeugwagen kompl. nur **470.-**

Inhalt:

1 Werkzeugwagen · 1 Steckschlüsselsatz · 1 Gabelschlüsselsatz · 1 Ringgabelschlüsselsatz · 1 Kombizange · 1 Wasserpumpenzange · 1 Beisszange · 1 Grip-Festhaltezange · 1 Radiozange geb. · 1 Seitenschneider · 1 Hammer · 1 Handfäustel · 1 Nagelleisen · 1 Englängen · 1 Imbussatz · 1 Präzisions-Schraubenziehersatz, div. Schraubenzieher · 1 Feinsäge · 1 Eisensäge · 1 Spachtel · 1 Drahtbürste · 1 Universalmessers · 1 Holzmeter · 1 Spiralbohrersatz HSS-Stahl · 1 Spannset · 1 Schlag-Schraubenzieher · 1 Kabelschuh-Presszangen-Satz · 1 Gummihammer · 1 Pinsel · 1 Schraubzwinge

Steckschlüssel- und Werkzeugsatz nur Fr. **150.-**

102-teilig, 1/4" und 1/2" Chrom-Vanadium



Inhalt

1/4" Antrieb: 12 Steckschlüsseleinsätze 4 mm – 13 mm; 1 Umschaltknarre 125 mm; 1 umschaltbarer Ratschenschraubendreher; 1 100 mm Verlängerung mit Sechskantaufnahme; 2 Verlängerungen 50 + 100 mm; 1 Kardangelenk; 9 Tiefbettsteckschlüsseleinsätze 4 mm – 13 mm; 1 flexibler Schaft; 1 Adapter; 1 T-Gleitgriff 115 mm; 8 Sechskantbits 1,5 – 6 mm; 7 Torx – Bits T10 – T40; 3 Flachschlitzbits 4 – 5 – 6 mm; 3 Kreuzschlitzbits 1 – 2 – 3; 3 Pozidriv Bits 1 – 2 – 3.
1/2" Antrieb: 14 Steckschlüsseleinsätze 10 – 32 mm; 9 Steckschlüsseleinsätze 3/8" – 1-3/16"; 1 Umschaltknarre 250 mm; 2 Verlängerungen 125 + 250 mm; 1 Kardangelenk; 1 T-Gleitgriff 250 mm; 2 Zündkerzeinsatz 16 mm, 21 mm; 4 Doppelsteckschlüssel 8 – 15 mm; 11 Gabelringschlüssel 7 – 19 mm; 3 Innensechskantschlüssel 1,5 – 2,5 mm.

Für telefonische Bestellungen ☎ 064 / 56 13 70



Bestell-Coupon Bitte senden Sie mir per Nachnahme

Anz. _____ Werkzeugwagen kompl. zum absoluten Tiefstpreis von **Fr. 470.-**

Anz. _____ Steckschlüssel-/Werkzeugsatz 102-teilig **Fr. 150.-**

Name/Vorname _____

Strasse _____ PLZ/Ort _____

Datum _____ Unterschrift _____

Bitte ausfüllen, ausschneiden und senden an: _____ Preis exkl. NN-Spesen _____

Konkurswaren-Verkauf Mägenwil, 5506 Mägenwil, Bahnhofstr. 15
 Offen: Mo 14-18.30 Uhr, Di-Fr 8-12 + 14-18.30 Uhr, Sa 8-12 + 13-16 Uhr