



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

**Agroscope**

# Vergleich von Heutrocknungsverfahren

**Franz Nydegger**

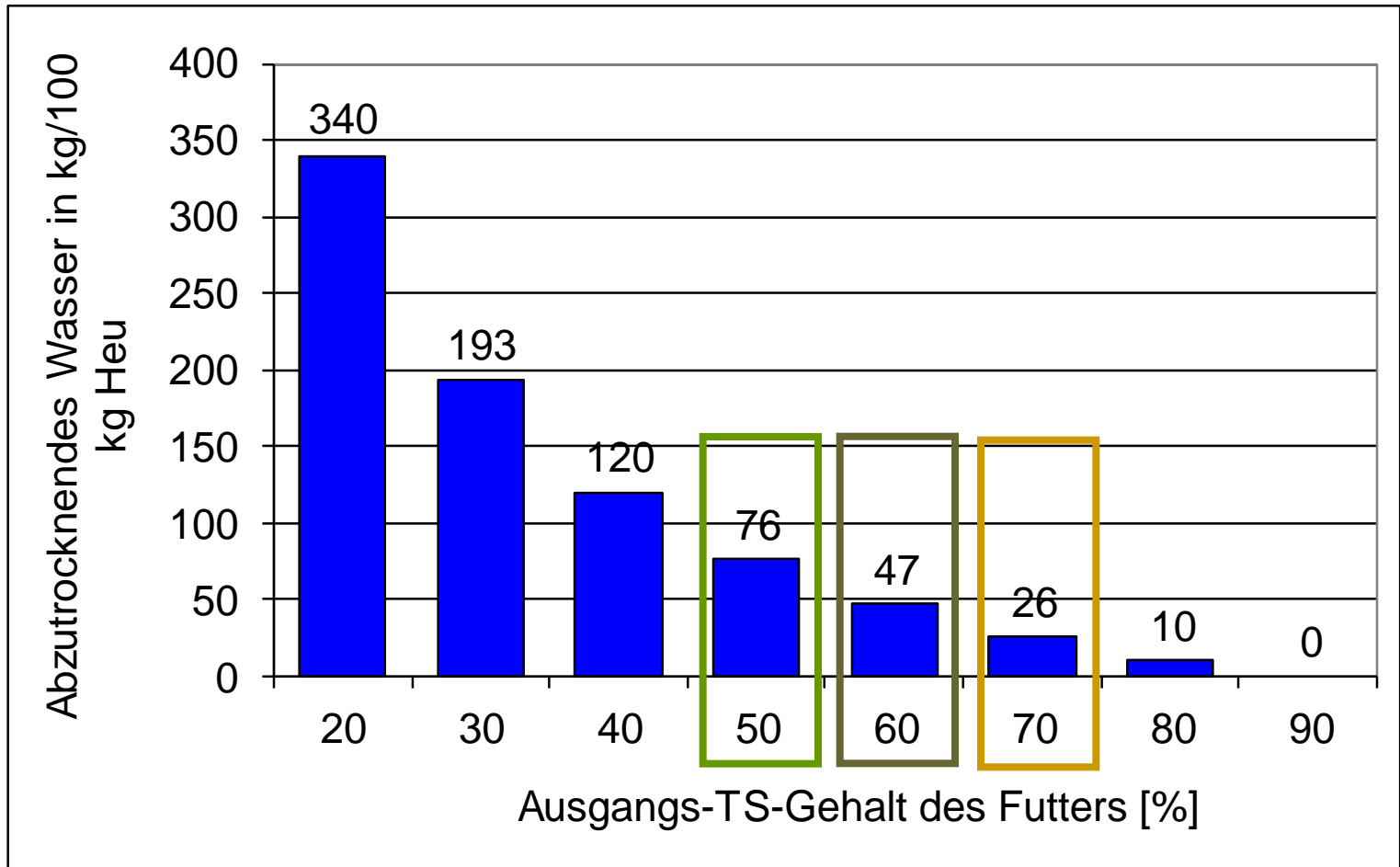
Weiterbildungskurs für Baufachleute 5./6.11.2013



**Vergleich von Heutrocknungsverfahren | Weiterbildungskurs für Baufachleute 2013**  
Franz Nydegger | © Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART



# Notwendiger Wasserentzug bei der Dürrfutterbereitung



# Steigerung der Trocknungskapazität



- Luftentfeuchter (Wärmepumpen)
- Warmluftofen (Öl oder Holz)
- Holzheizung (Schnitzel oder Stückgut)





# Annahmen Vergleich Beispielbetrieb

- Dürrfutterbereitung für 60 Milchkühe
- Ration von 17 kg Trockensubstanz (TS) Dürrfutter pro Kuh und Tag
- Winterfütterungstage 170
- Dürrfutterbedarf von rund 170 Tonnen (t) TS pro Jahr
- Ertrag von 19 ha Naturwiese (mittelintensiv 600 m ü M 9 t TS/ha Jahr)
- 4 Schnitte (üblich 35 %, 30 %, 20 %, 15 %)
- Vergleich vereinfachend 1 Schnitt 3 Chargen total 9 Chargen



# Belüftungsanlagen

## Bei allen Verfahren

- Heustockfläche 2 x 150 m<sup>2</sup>
- Stockvolumen 1400 m<sup>3</sup>
- Max. Füllhöhe 5 m
- Automatische Steuerungen
- Einfuhr-TS 60 %
- 600 m ü M



# Verfahren für die Trocknung 1

- Kaltbelüftung (KB)
- Belüftung ausgerüstet mit Sonnenkollektoren (Soko)
- Belüftung mit Luftentfeuchter und Lüfter für einen Stock (LE ½)
- Belüftung mit Luftentfeuchter kombiniert mit Sonnenkollektoren (LE+Soko)
- Belüftung mit Warmluftofen für einen Stock (WO)





# Verfahren für die Trocknung 2

## Spezielle Auslegungen

- KB und Soko beide Stöcke gleichzeitig betrieben
- Soko 75 % «warm» 25 % «kalt» betrieben
- LE ½, Stöcke werden nacheinander betrieben
- LE+Soko, Soko (300 m<sup>2</sup>) und LE (32 kW), je 50 % Einsatz
- WO mit KB ergänzen sich je 50 %



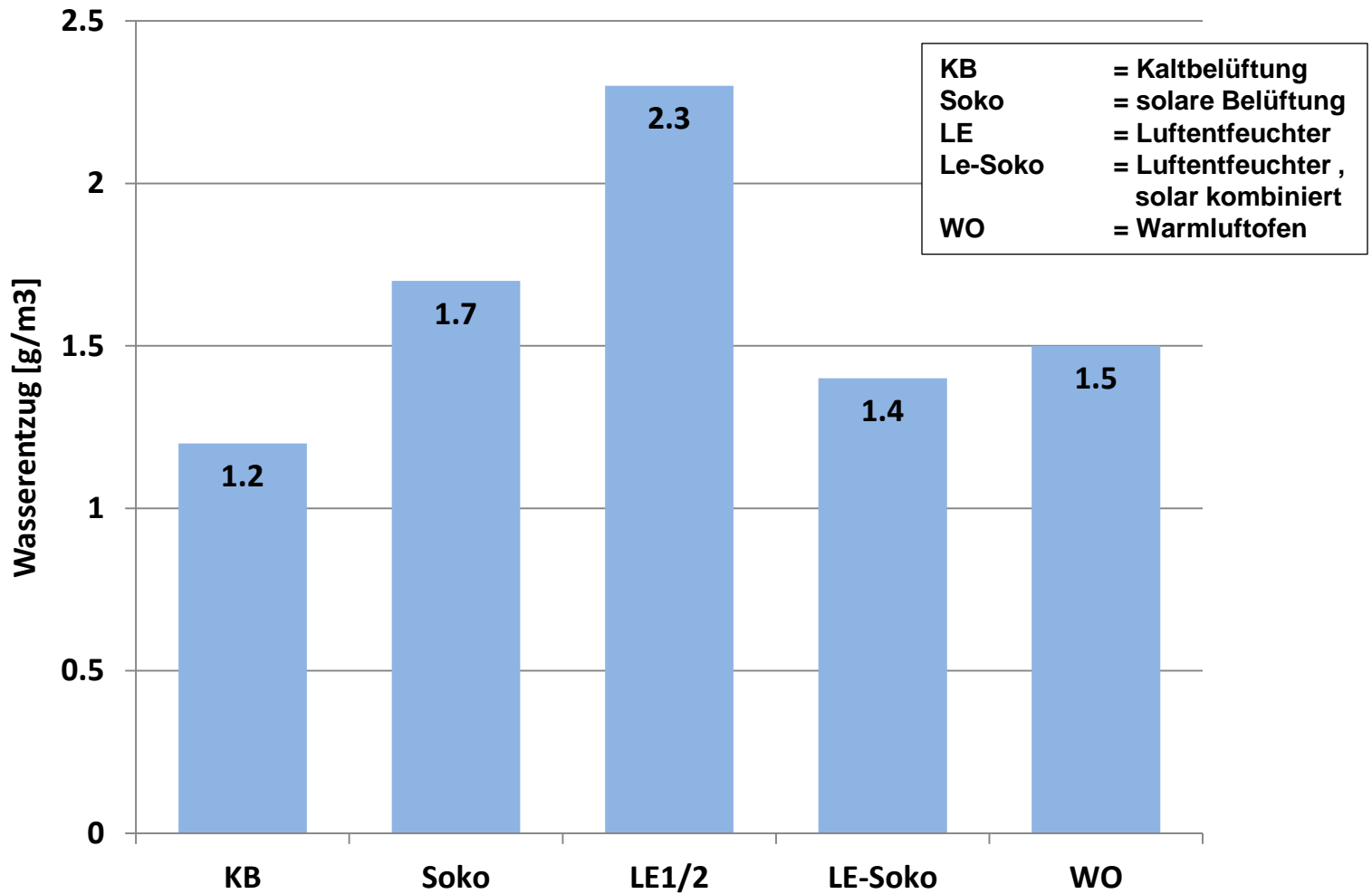


# Berechnungen

- Auslegung-Heubelüftung (Excel ART)
- Trocknungskapazität und Energiebedarf und Kosten (boxenkalk\_v8b\_ch (G. Wirleitner))
- Anlagepreise (PBK)
- Jahreskosten (exkl. Betriebskosten -> oben)
  - Amortisation 5.00 %
  - Zins 1.84 %
  - Reparatur 1.84 %
  - Versicherung 0.20 %

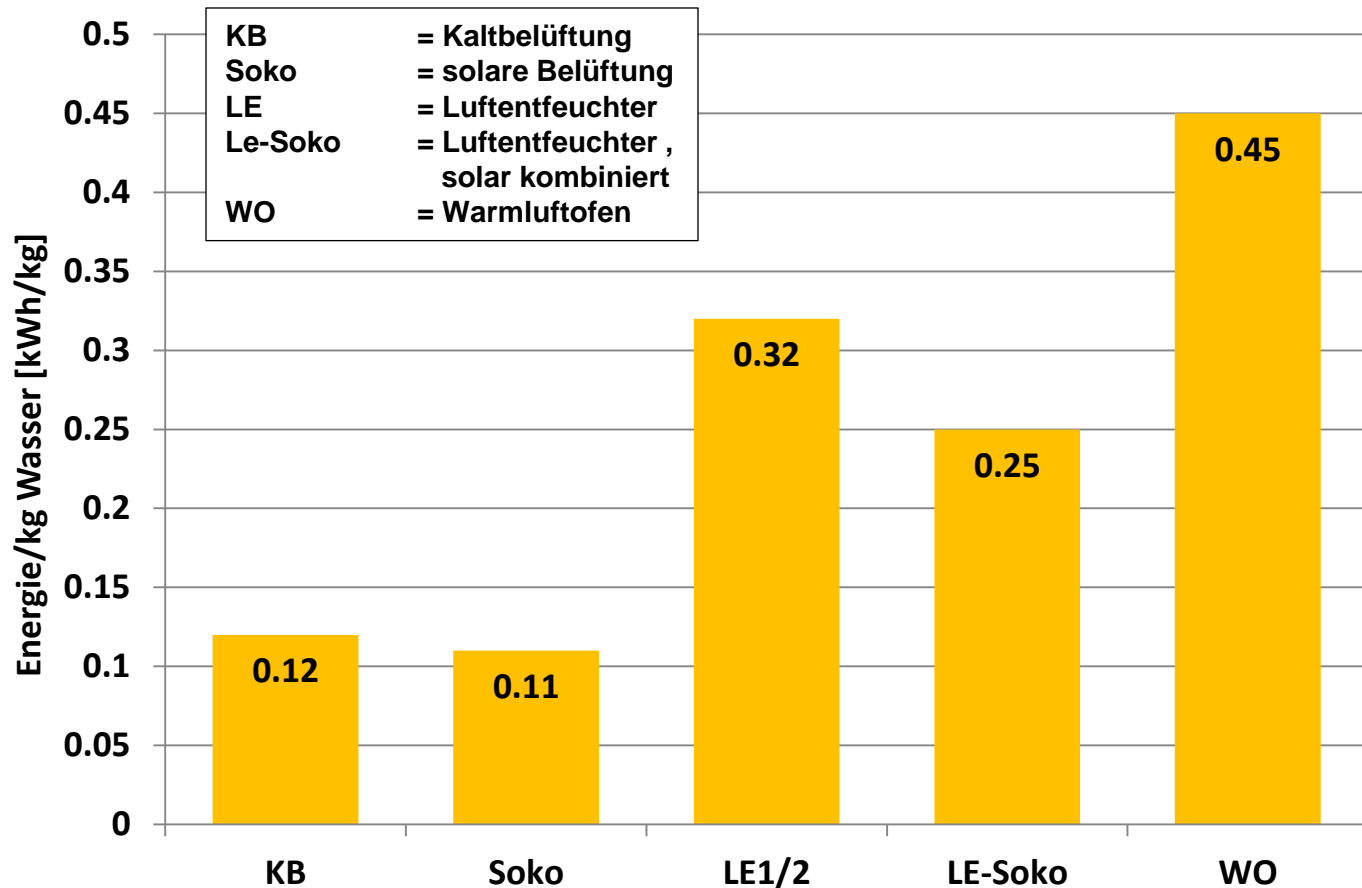


# Wasserentzug



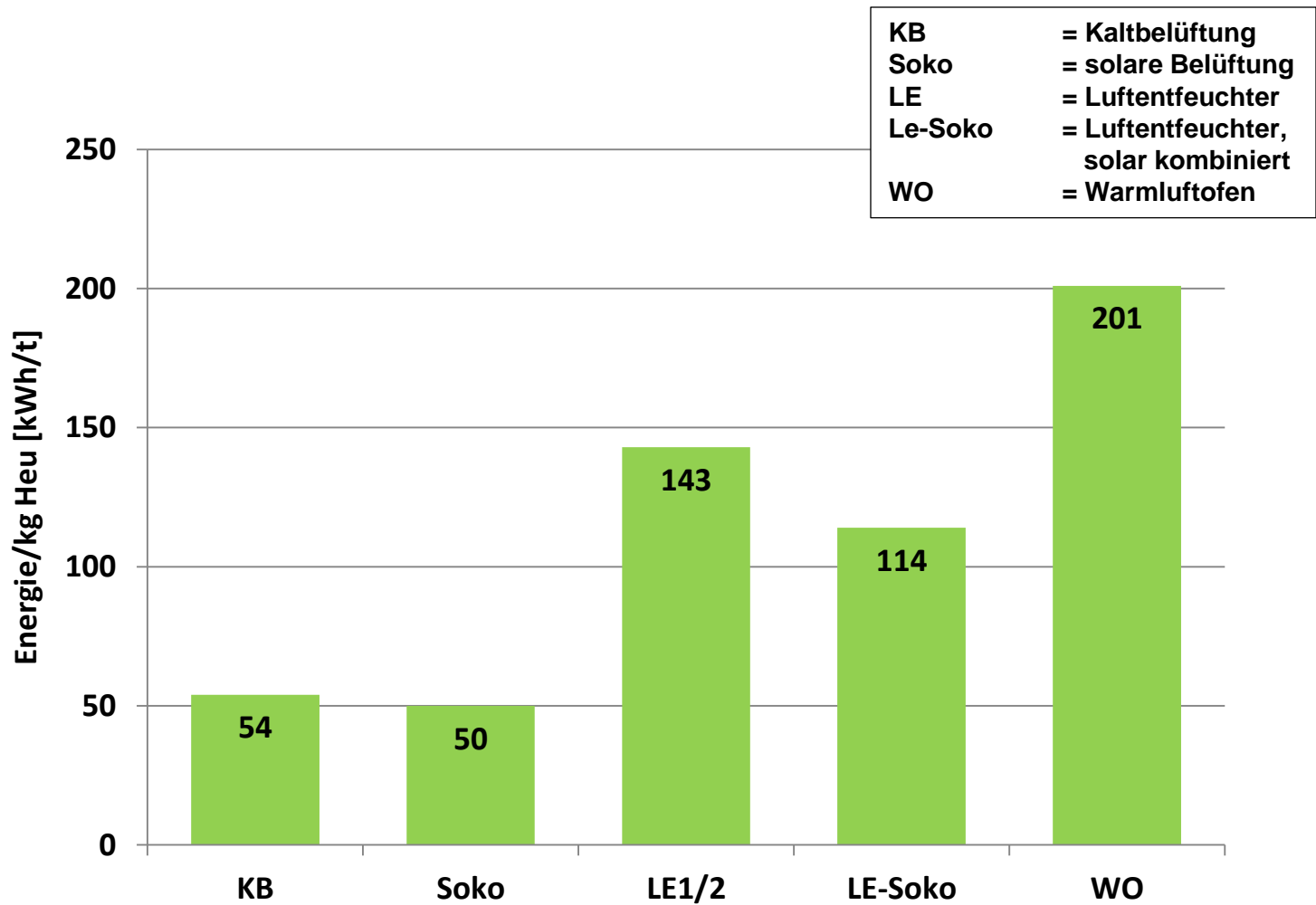


# Energiebedarf pro kg verdunstetes Wasser





# Energiebedarf pro kg Heu





# Laufzeiten und Dauer der Trocknung (theoretisches Beispiel)

Tag	E	1				2				3				4				5				6				7																								
Tageszeit	h	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16						
KB	67	4			1	4	4	4			1		4	4			1		4	4			1		4	4			1	4	4				1	1	4	4			1	4	4	3			1	4	4	3
Soko	47	4			1	4	4	4			1		4	4			1		4	4			1	4	3				1	3																				
LE 1/2	73	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4						
LE-Soko	57	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1						1	2	2																									
WO-KB	54	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1						1																											

- Trocknung Tag
- Nacht Intervall
- Regen
- Trocknung LE oder WO



# Investition und Jahreskosten

	Anlagepreis	Jahreskosten ohne Betriebskosten
Verfahren	Fr.	Fr.
KB	77200	6860
Soko	113400	10070
LE1/2	155000	13760
LE-Soko	184607	16390
WO	87000	7730



# Ergebnisse

Verfahren		KB 2x150 m <sup>2</sup>	Soko 2x150 m <sup>2</sup> 600m <sup>2</sup>	LE1/2 150 m <sup>2</sup>	LE-Soko 2x150 m <sup>2</sup> 300 m <sup>2</sup>	WO 2x150 m <sup>2</sup>
Zeitbedarf Trocknung pro Charge	h	67	47	73	57	54
Zeitbedarf Trocknung	h	603	423	657	513	486
Energiekosten	Fr.	2167	1970	5714	4532	6320
Energiekosten/dt TS	Fr.	1.25	1.14	3.3	2.61	3.1
Kosten / dt TS ohne Energie	Fr.	3.95	5.81	7.94	9.45	4.46
<b>Kosten / dtTS mit Energie</b>	<b>Fr</b>	<b>5.20</b>	<b>6.94</b>	<b>11.23</b>	<b>12.07</b>	<b>7.52</b>

<b>KB</b>	<b>= Kaltbelüftung</b>
<b>Soko</b>	<b>= solare Belüftung</b>
<b>LE</b>	<b>= Luftentfeuchter</b>
<b>Le-Soko</b>	<b>= Luftentfeuchter, solar kombiniert</b>
<b>WO</b>	<b>= Warmluftofen</b>





# Fazit 1

- Kaltbelüftung (Referenz) kostengünstigstes Verfahren grösste Dauer in Tagen für die Trocknung
- Kaltbelüftung kombiniert mit Warmluftofen, geringer Anlagepreis, kürzere Dauer der Trocknung, hoher Energiebedarf, relativ tiefe Kosten pro dt TS Futter
- Solare Trocknung, höherer Anlagepreis, kürzere Dauer der Trocknung, tiefer Energiebedarf, relativ tiefe Kosten pro dt TS
- Luftentfeuchter, kürzere Dauer der Trocknung, hoher Energiebedarf, hohe Kosten pro dt TS
- Kombination Luftentfeuchter mit Soko, kürzere Dauer der Trocknung, mittlerer Energiebedarf, hohe Kosten pro dt TS



## Fazit 2

- Grosse Anlagen mit Soko schlagkräftig bei Nutzung ganzer Stockfläche
- Bei grossen Anlagen werden Luftentfeuchter oft nur auf Teilflächen eingesetzt (Beispiel LE1/2) und mit Soko kombiniert (Beispiel LE-Soko)  
Vorteile beider Verfahren, Luftentfeuchter weitgehend wetterunabhängig, Soko energieeffizient
- Warmluftofen kostengünstigste Aufrüstung der KB, kann bei grossen Anlagen auf Teilflächen eingesetzt werden



# Herzlichen Dank!



**ART – Forschung für  
Landwirtschaft und Natur**

franz.nydegger@agroscope.admin.ch • Tel. +41 52 368 33 16