



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Grangeneuve

Institut agricole de l'Etat de Fribourg IAG
Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg LIG

Heubelüftung

Verschiedene Energiequellen zur Erwärmung der Trocknungsluft

Pierre Aeby
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Grangeneuve, Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg
Route de Grangeneuve 31
CH-1725 Posieux
pierre.aeby@fr.ch

Ohne weiteren Hinweis, Fotos vom Autor
Version 2021



Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts **DIAF**
Direktion der Institutionen und der Land- und Forstwirtschaft **ILFD**

Heu von guter Qualität

Hinter den Einrichtungen ist die Futterration der Tiere...

> Schlüsselbegriffe:

- Protein-, Energie-, + Mineralstoffgehalte
- Sauberkeit, Hygiene, Schmackhaftigkeit des Futters
- Produktionskosten
- Einsparung von Kraftfutter
- Wetterunabhängigkeit



Heu von guter Qualität

Futterautonomie = die «Proteine» sichern

> Und die Proteine sind in den Blättern!

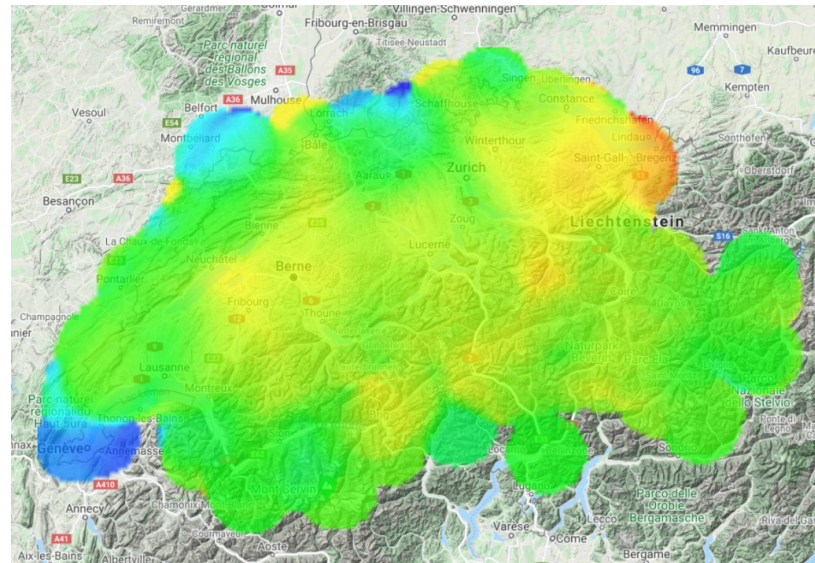
In der ganzen Luzernepflanze	Blätter	Stängel
Rohprotein in g/kg TS	299	147

Quelle: Aeby, Luzerne GV 2001

Heu von guter Qualität

Verbesserungspotential bei der Futterqualität

- > Regionale Unterschiede sichtbar
- > Auf Niveau der Wiesen, der Feldmechanisierung, der technischen Einrichtungen in den Gebäuden und den Kompetenzen des Betriebsleiters



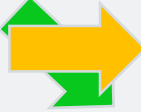
Quelle : www.feedbase.ch, g APDN/kg TS, Heu 1. Schnitt 2016-2018

Quelle Erneuerbarer Energien oder nicht

Energieart	Beispiele	
Sonne	Abwärme unter dem Dach oder dem Photovoltaikpanel -> Warmluftanzug unter Dach (Ausrichtung des Gebäudes)	
Elektrizität	Luftentfeuchter Wärmepumpe	
Holz	Pellets, Schnitzel, Hackschnitzel, Stückholz -> Heizung	
Fossile Energieträger	Heizöl Gas -> Heizung	
Abwärmennutzung	Biogas Kehrichtverbrennungsanlage -> Wärmeaustauscher - Luft oder Wasser	

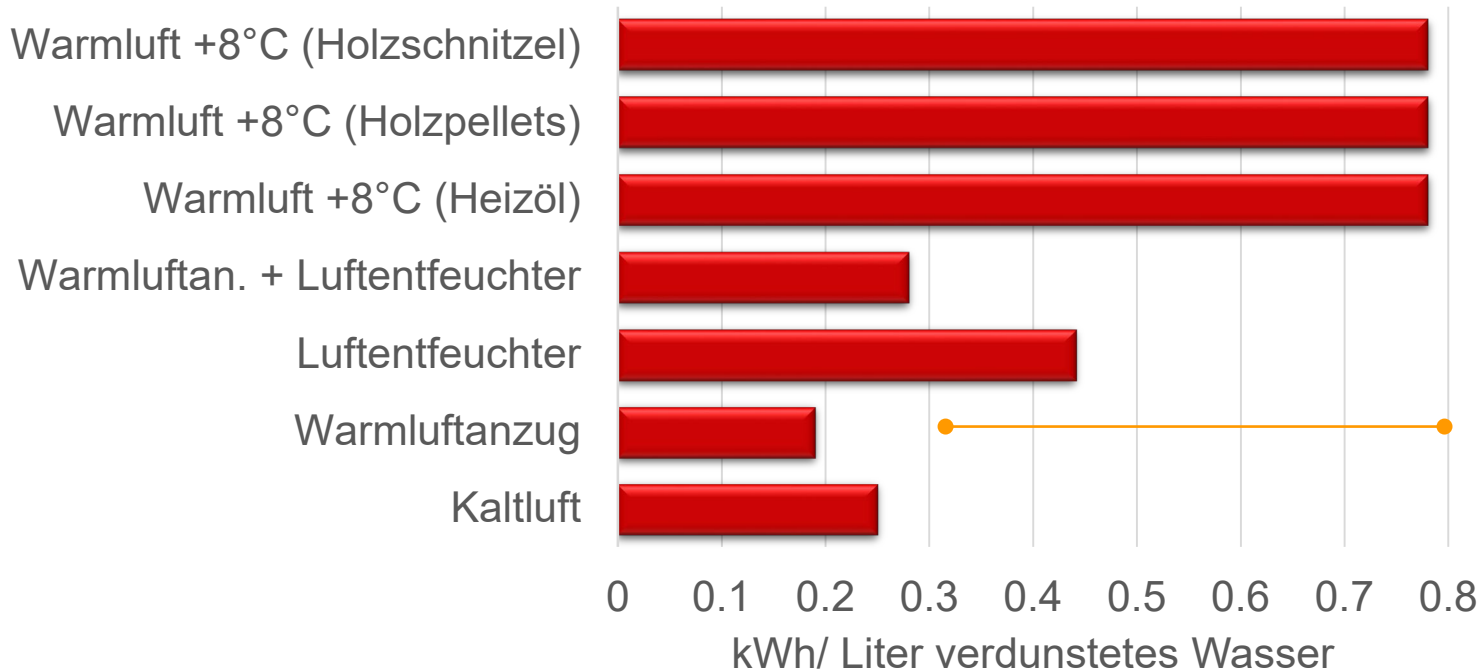
Energiekosten

Erneuerbare Energie von Vorteil

Energieart	Energiepreis in CHF/kWh (und Prognose)		
Sonne	0		
Elektrizität	0.10-0.15 (0.08-0.20) <i>?Strom Blackout?</i>		
Holz	Pellets ~ 0.06 Schnitzel ~0.03		
Fossile Energieträger	Heizöl ~ 0.09 (0.07-0.20) Gas 0.08-19		
Abwärmennutzung	0 – 0.07		

Energieeffizienz

Nicht alle Systeme sind vergleichbar



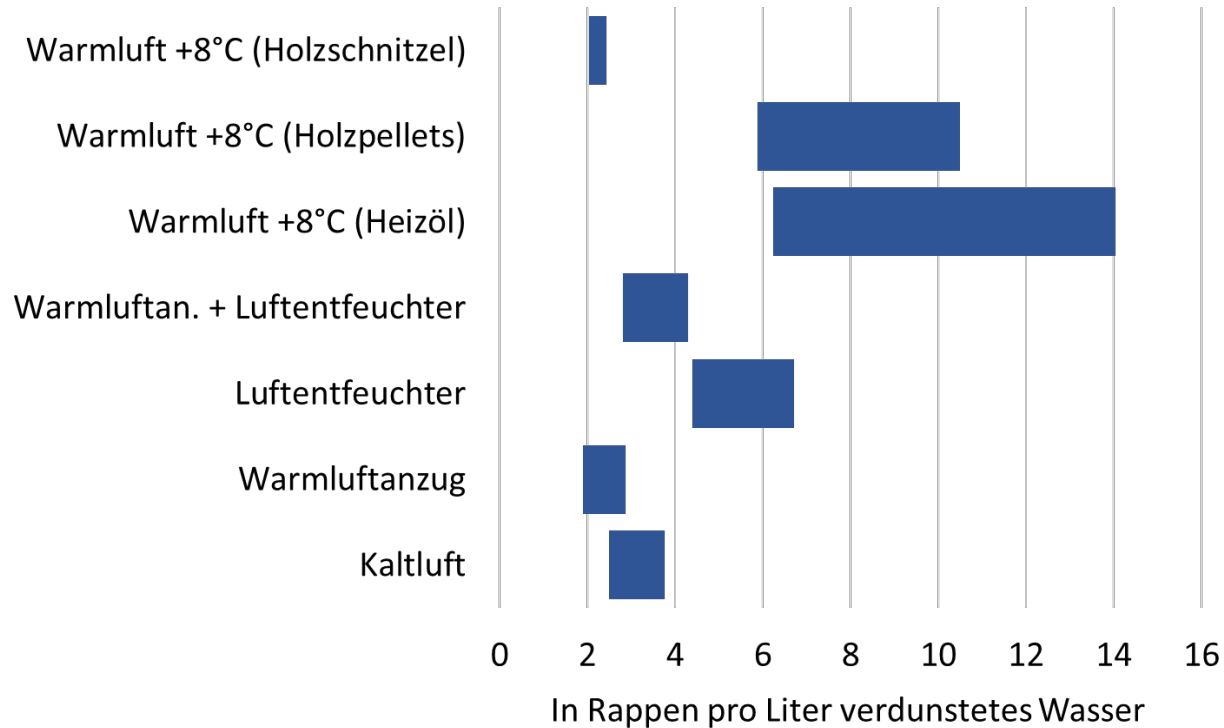
Quelle: Angepasst von Wirleitner "Heutrocknung, technische Grundlagen für die Bauplanung" ÖKL 2017

> Warmluftanzug unter Dach = ungeschlagen

> Luftentfeuchter = Das effizienteste System bei nassen Bedingungen

Verdunstungskosten

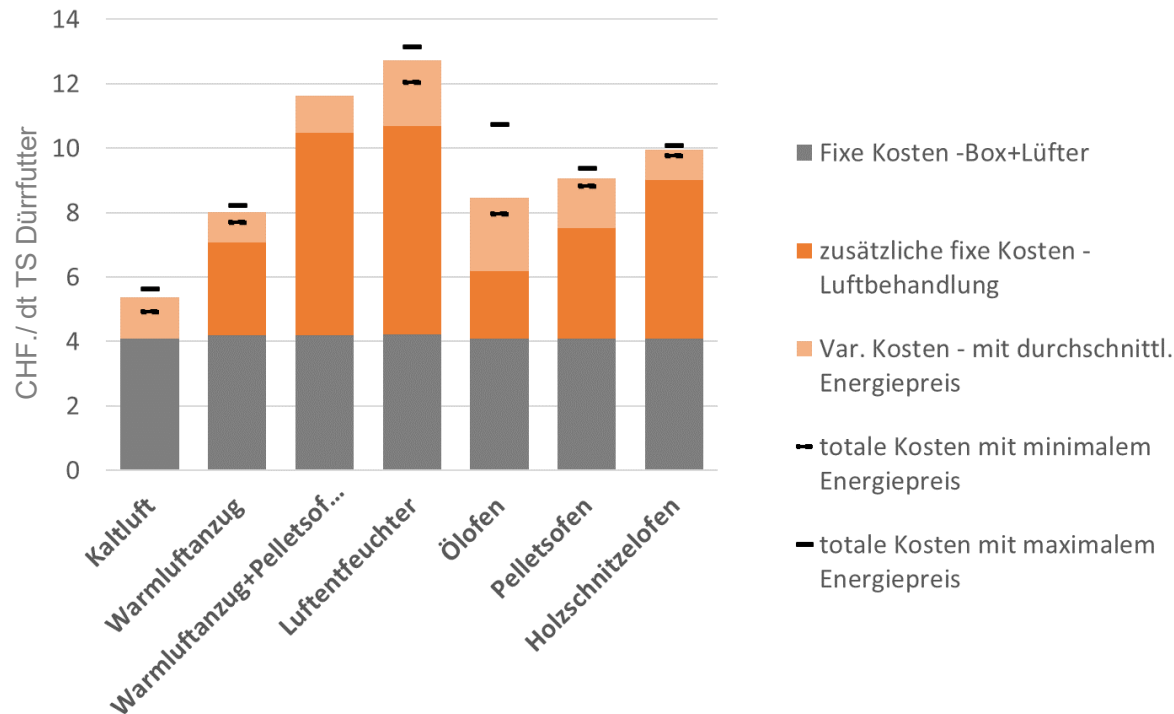
Energiekosten * Energieeffizienz



> Am Ende, ist das System mit Sonnenenergie das günstigste, aber benötigt eine Ergänzung bei schwierigen Wetterbedingungen.

Totale Kosten der Systeme

Fixkosten + variable Kosten



> Um eine gute Heuqualität unabhängig vom Wetter, sicher zu stellen, kann die Sonnenenergie durch Holz ergänzt werden.

«Kantonaler Klimaplan» Kanton Freiburg

Unterstützung von Warmluftanzug unter Dach (Dachabsaugung)

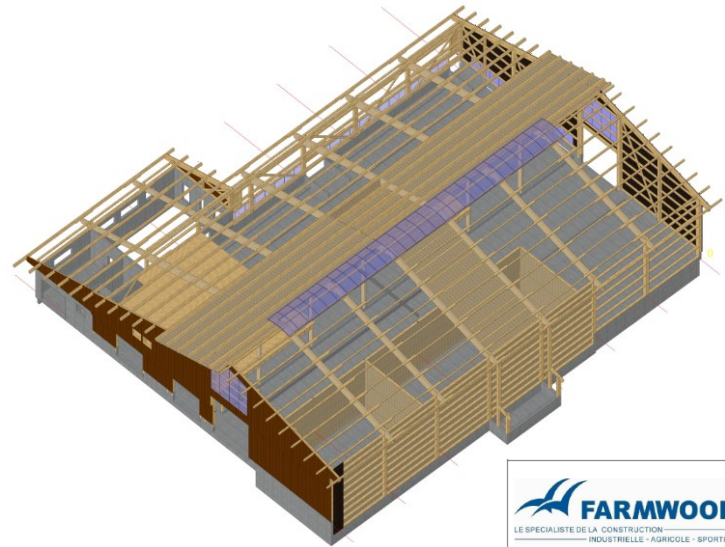
- > Bis zu 5'000 CHF Unterstützung für eine neue Anlage
- > Verteilung anhand folgender Bedingungen https://bdlf.fr.ch/app/fr/texts_of_law/821.40.56
oder https://bdlf.fr.ch/app/de/texts_of_law/821.40.56 (auf Deutsch)



Warmluftanzug unter Dach

Die Grundlage bei allen Heubelüftungsprojekten

- > Unterdach aus OSB des Typs 3 oder 4
- > +6 bis +10°C ; Blech > Photovoltaik > Faserzement > Ziegel
- > 100 m² Heubelüftung = ~300 m² Unterdach = equiv. 36'000 kWh pro Jahr = 3'600 l Heizöl
- > Zwischen 15'000 und 50'000 CHF
- > Konzeption der Heubelüftung manchmal vernachlässigt:
zu grosse Grundfläche,
unangepasste Form,
Luftabfluss
- > Werbung durch die Architekten!



Warmluftanzug unter Dach

- > Sparrenhöhe und breite des Dachs bestimmen die Luftgeschwindigkeit, Druckverlust und die Ventilatorleistung
- > 2.75m^2 Anzugsquerschnitt für eine Heubelüftung von 100m^2 (wenn die Sparren 0.22m hoch sind = 12.5 m Nettodachbreite)
- > Luftgeschwindigkeit von 2 bis 6m/Sek.
- > Druckverlust maximal = max 1.0 hPa unter dem Dach



Warmluftanzug unter Dach



Quelle: Matthias Kittl

Warmluftanzug unter Photovoltaik

Grosses Interesse, aber Installation häufig kompliziert

- > Temperaturgewinn zwischen Blech und Faserzement
- > Leistung gewonnen = Bis zu 5 Mal mehr Wärme als Elektrizität
- > Ertrag der Photovoltaik verbessert aufgrund der Kühlung der Zellen:
+0.3 bis +0.5% pro Grad



Quelle: Internet

Warmluftanzug unter Photovoltaik



Quelle: Lukas Waltert,
LBBZ Luzern



Quelle: Matthias Kittl,
Landwirtschaftskammer Salzburg

> Verschiedene
Ausführungsvarianten

Warmluftanzug unter Photovoltaik

Integriertes System

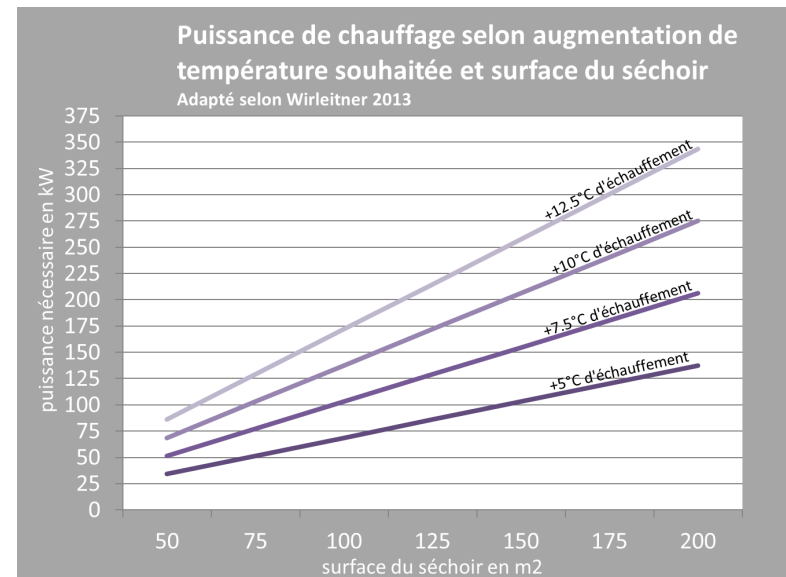
- > Photovoltaik Panel + Anzugskanal integriert: www.cona.at und www.base-innovation.com
- > Raffiniert, effizient, aber relativ teuer



Heizöfen

Günstige Lösung, aber nicht nachhaltig

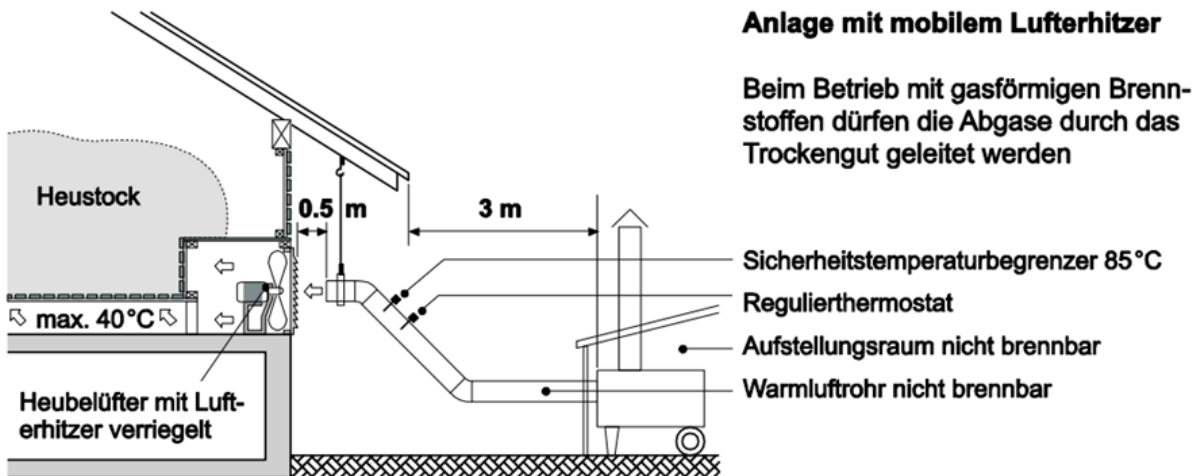
- > Ab 10'000 CHF
- > 12.5 kW für +1°C und pro 100m² Heustockgrundfläche
- > Verbrauch ~12 Liter / Stunde für 100 kW



Heizöfen

Brandschutz / Abgas

- > Im jeweiligen Reglement nachschlagen. Grundsätzlich > 3m Abstand zum Dach im Winkel, für die Heizung und Kamin.
- > Viele nicht konforme Anlagen!



Quelle: ECAB 2021 >Link für das Dokument: <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-123.pdf/content>

Holzheizung

Schnitzel

- > Die günstigste Energiequelle
- > Bedienung meistens notwendig
- > Bsp.: Lasco 150 kW für 2 Zellen von 80 m², coût = 50'000 CHF (ohne Technikraum) (Quelle: Kurs Flawil 2020, Chr. Baumgartner)
- > Bsp.: 2.5m³ Schnitzel reichen für 10-12 Stunden, à 25 CHF/m³ oder anhand anderer Quellen = 0.3 m³ / Stunde für 160 kW



(Patrick Müller, Ernetswil, 2020)

Holzheizung

Pellets

- > Lösung à 100 kW ab 10'000 CHF
- > Oder Sommermiete für 2'500 CHF von 50 bis 120 kW + 1'200 CHF für 3 Boxen Pellets von 3000 kg Pellets
- > Sehr guter Kompromiss zwischen Heizöl und Holzschnitzel



Holzvergasung

Und Wärmeproduktion

- > Modul Spanner mit einer Stromleistung von 9 bis 49 kWé und einer Heizleistung von 25 bis 111 kWh.
- > Holzvergasung: Kurze Briketts, Granulat, Hobelspäne, Holzschnitzel, Sägemehl
- > Beispiel Thomas Helfer



source photo : Spanner

Warmwasserspeicher

> 3 m³ Wasserlagerkapazität für 100kW Leistung

Beispiel 1: Heubelüftung benötigt eine konstante Leistung von 150 kW während 12 Stunden = 54 m³ Wasserlagerkapazität

Beispiel 2: Warmwasserspeicher von 5 m³ reicht für 2 Stunden die Leistung von 100 kW zu halten (Matthias Kittl, Landwirts. Kammer Salzburg)



Quelle: https://www.agrinova.qc.ca/wp-content/uploads/2016/09/Fiche_Sechage_foin_Agrinova_2oct2014.pdf

Biogas Abwärme

—

Beispiele Seedorf / Porrentruy

- > Verfügbare Leistung enorm
- > Potentiell Trocknung im Container oder in klassischen Kammern möglich



Wärme des Stromgenerators

Stromproduktion und Wärmerückgewinnung

- > Direkte Wärme
- > Lösung wenn ungenügender Amperewert



Quelle: Internet



Andere Wärmespeicher

Beton

> Bodenheizung im Betonboden = Wärmespeicherung im Beton

2 m³ Beton speichern gleichviel Wärme wie 1 m³ Wasser (Quelle: ÖKL, Wien 2017)

> Abkühlung der Luft um 1° pro 10m Beton

Kies

> 30-45 mm Durchmesser

➤ 11.4 m³ Kies = benötigtest Volumen für jede Stunde und Flächen von 100 kW benötigter Leistung

Beispiel : Heubelüftung benötigt 150 kW konstante Leistung für 12 Stunden = 205 m³ Kies

Luftentfeuchter

Absenkung der absoluten Luftfeuchtigkeit

- > Trocknung + Erwärmung der Luft $+1$ bis $+8^{\circ}\text{C}$
- > Ventilatoren-Leistung/ Luftentfeuchter-Leistung = $1/1$ bis $1/2$
- > Kosten: 50'000 bis 100'000 CHF



Luftentfeuchter

Einen geschlossenen Kreislauf kreieren

- > Um so feuchter die Luft, desto effizienter ist der Luftentfeuchter
- > Luftgeschwindigkeit im Kondensator ~ 2 m/Sek.
- > Schlechtere Leistung wenn Temperatur $< 10^{\circ}$ C oder wenn die Luft < 40 rLF
- > Regelmässiger Unterhalt (Filter)



Verschiedene Hindernisse bei der Lufterwärmung

- > Luftentfeuchter = Effiziente Technologie, aber teuer und komplex
- > Warmluftanzug = Grundlage ! Interesse manchmal vernachlässigt
- > Holz = Zukünftige Energie zur Ergänzung der Sonnenenergie
- > Warmluftanzug unter Photovoltaik : manchmal kompliziert zu planen (fehlender Enthusiasmus der Planer und der Photovoltaikvertreter?)
In der Zukunft schlüsselfertig?
- > Bewusst sein des Ganzen:
Konservierungsqualität = Proteinunabhängigkeit!
- > Besucht das Webinar vom letzten Winter, zu sehen unter <https://www.inforama.ch/beratung/smart-farming-technik-und-energie/webinar-heutrocknung-2021>

Fragen oder Anmerkungen