LUFTSPEICHERSYSTEME FÜR SOLARE TROCKNUNGSPROZESSE

STEINSPEICHER, LATENTWÄRMESPEICHER UND SORPTIONSSPEICHER

Luft, die oft in Trocknungsprozessen von landwirtschaftlichen Produkten als Energieträger benutzt wird, hat andere Eigenschaften als Wasser (Tabelle 1), woraus sich entscheidende Folgerungen für eine geeignete Wärmespeicherung ergeben.

Wegen ihrer niedrigen Wärmekapazität (0,28 Wh/kg·K) kann Luft die Wärme über längere Zeit nur schlecht speichern. Die Wärmekapazität sagt jedoch nichts über die Zeit aus, über die Wärme gespeichert werden kann. Ihr Wert definiert vielmehr wie viel Volumen pro Wärmeeinheit benötigt wird. Wasser dagegen speichert etwa 4mal mehr Wärme (1,16 Wh/kg·K) als die Luft. Dieser Unterschied spielt eine große Rolle in den solaren Anwendungen beider Medien, wenn sie als Energieträger benutzt werden. Die Möglichkeit, mit der in der Luft enthaltenen Wärme über einen Wärmetauscher Wasser zu erwärmen und damit Wärme zu speichern, ist technisch schon standardisiert. Diese Art zur Warmwassererzeugung steigert eigentlich die Effizienz von solaren Luftsystemen, die hauptsächlich für Belüftung und Heizungsunterstützung geplant werden, aber Wasser-Wasser-Wärmetransfer ist auf Grund der unterschiedlichen Wärmekapazitäten effizienter als Luft-Wasser-Wärmetransfer. Für die solaren Trocknungsprozesse bestehen andere effektive Möglichkeiten zur Wärmespeicherung, nämlich Wärme, die nach Bedarf wieder im Trocknungsprozess eingeführt werden kann.

In diesem Artikel werden die wichtigen Speichersysteme kurz beschrieben, die in der Lage sind, Luftwärme für Trocknungsprozesse optimal zu speichern.

Steinspeicher

Grundprinzip: Ein Steinspeicher ist eine Art sensibler thermischer Speicher. In der Bild 1 ist das Speicherprinzip dargestellt. Im Ladevorgang wird die solare Warmluft von oben nach unten durch die Zwischenräume von losen Steinschüttungen geleitet, welche daraufhin ihre Temperatur erhöht.

Im Entladevorgang wird die frische Luft von unten nach oben geblasen und bekommt damit die gespeicherte Wärmeenergie aus dem Steinen wieder zurück. Die Luft erwärmt sich dabei und gelang zurück in den Trocknungsraum. Bei einem Steinspeicher handelt es sich somit um einen Feststoffspeicher, wobei die Funktionsweise ähnlich wie die eines regenerativen Wärmetauschers ist. Als Speichermedium eignen sich besonders Steinschüttungen mit hoher Wärmekapazität, großer Dichte sowie einer guten thermischen und chemischen Beständigkeit (z.B. Kies oder Schotter), aber auch Feststoffe wie Ziegelstein, Beton, Granit oder Keramik. Die Wärmeverluste, die mit der Umgebung entstehen, können durch eine passende Konstruktion des Speichers und durch eine thermische Isolierung minimiert werden.

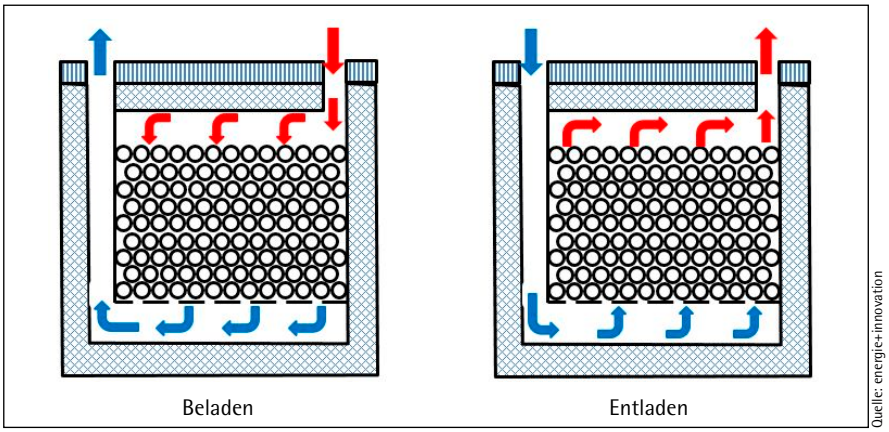
Technische Merkmale

- Die gespeicherte bzw. abgegebene Wärmemenge verhält sich proportional zur Masse des Speichermediums

	Luft	Wasser
Dichte	1,185 kg/m³	998,200 kg/m³
Spez. Wärmekapazität c (Masse)	0,28 Wh/(kg·K)	1,16 Wh/(kg·K)
Spez. Wärmekapazität c (Volumen)	0,31 Wh/(m³·K)	1,16 Wh/(m³·K)
Wärmeleitfähigkeit λ	0,026 W/(m·K)	0,599 W/(m·K)

Quelle: DGS

Tabelle 1: Einige physikalische Eigenschaften von Luft und Wasser bei 25°C und 1 bar



Quelle: energie+innovation

Bild 1: Schematische Darstellung eines Steinspeichers

Beispiel aus Praxis

- 70 t Steinspeicher
- Temperatur im Steinspeicher bis zu 60 °C
- Heu-Trocknungsfläche 100 m²
- Trocknungskapazität: 400 t Heu/Jahr

Zusätzliche Heizungszwecke:
- Hackschnitzeltrocknung
- Hühnerstall // Werkstatt + Verkaufsraum

Quelle: CONA

Bild 2: 96 m² Solarluftkollektoren

Persönliches Exemplar: Weitergabe nicht gestattet, Inhalte unterliegen dem Schutz des deutschen Urheberrechts
© Copyright Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.

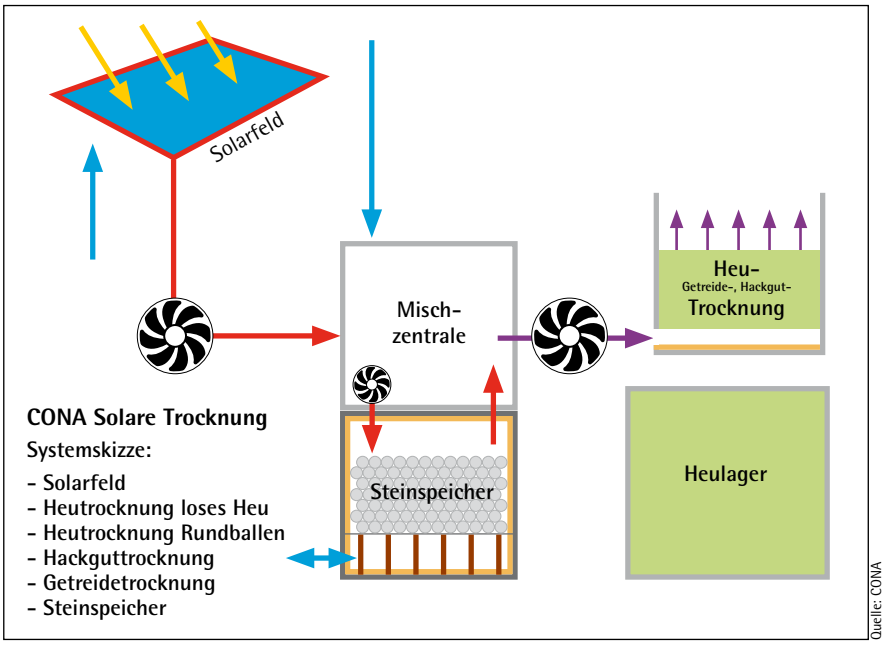


Bild 3: Luftzirkulation im Trocknungsprozess Steinspeicherkonstruktion

Bild 4: Bilder von Steinspeicher

- Zur Beurteilung von Wärmespeichern einer Kiesschüttung mit 40 % Luftanteil werden folgende Werte erzielt [1]:
  - Dichte von Kiesschüttung: 1.500 kg/m³
  - Volumetrische Wärmekapazität: 300 Wh/m³ K
  - Speichermedium (S) /Kollektorfläche (KF): 0,15-0,35 m³ S-Volumen / m³ KF

Wegen der teilweise geringeren Energiedichte im Vergleich zu anderen Wärmespeichern finden die Steinspeicher für untergeordnete Zwecke Anwendung. Ein gutes Beispiel, das in Bild 2 dargestellt ist, ist die Trocknung von landwirtschaftlichen Produkten wie Heu.

Die Warmluft setzt sich hier nach Bedarf, wie in der Bild 3 dargestellt wird, aus einer Kombination von Solarluft, Steinspeicherluft und Umgebungsluft zusammen. Die solare Trocknung von losem Heu ähnelt technisch sehr der Flächentrocknung von Heilpflanzen. Deswegen gilt diese funktionsfähige Kombination: Solar erzeugte Warmluft-Steinspeicher als einen Beweis und gleichzeitig als eine Provokation, sie für Heilpflanzen-Trocknung gezielt einzuführen.

Latentwärmespeicher (PCM-Wärmespeicher)

Grundprinzip: Bei einer sensiblen Wärmespeicherung steigt die Temperatur bei Wassererwärmung proportional zur Wärmezufuhr linear an, wie blaue Linie in der folgenden Abbildung zeigt.

Latente Speichermaterialien, auch PCM (Phase Change Material) genannt, können eine größer Menge Wärme durch einen Phasenwechsel speichern, etwa von Fest zu Flüssig (rote Linie in der Bild 5). Bis zur Schmelztemperatur Tm des Speichermaterials (20 bis 40°C) bleibt es fest, die Temperatur steigt ebenfalls linear an. Erreicht man die Schmelztemperatur, so bleibt die Temperatur weitgehend konstant, bis das gesamte Material geschmolzen ist. Weil die Temperaturänderungen über und unterhalb der Schmerztemperatur in einer Spanne von wenigen Grad (10 K) liegen, wird beim Schmelzvorgang gegenüber der sensiblen Speicherung eine bis zu 10-fach höhere Wärmespeicherdichte erzielt. Wird das gesamte Material geschmolzen, steigt die Temperatur wieder an, und damit wird auch die zusätzliche sensible Wärme nutzbar. So können die Solarluftanlagen durch die niedrigeren Speichertemperaturen mehr solare Wärme speichern. Als Speichermedium für Trocknungszwecke von landwirtschaftlichen Produkten könnten anorganische Stoffe - wie Salze und Salzhydrate - oder organische Materialien wie Paraffine und Fettsäure eingesetzt werden.

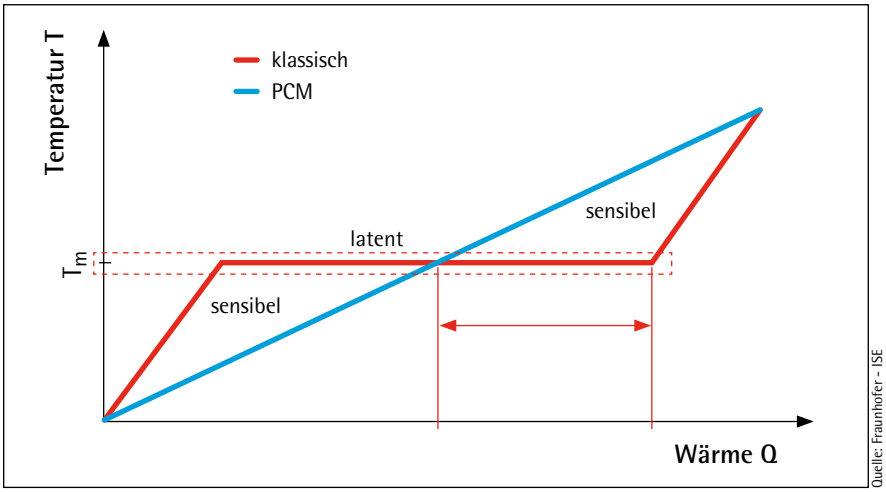


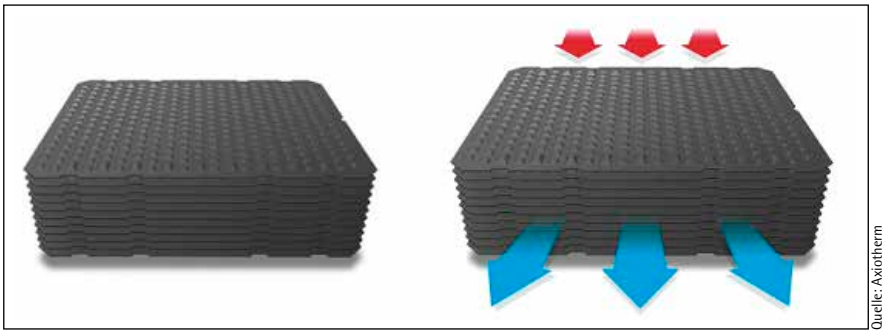
Bild 5: Vergleich von sensibler und latenter Wärmespeicherung

Technische Merkmale

- Minimaler Druckverlust, maximaler Wärmeübergang
- Hohe Wärmespeicherkapazitäten
- Langzeitstabilität über tausende von thermischen Zyklen (Schmelzen/Erstarrung)
- Schnelle Wärmeladung mit Solarluftkollektoren
- Schnelle Wärmeentladung mit Nachtluft
- Sichere und stabile Betriebsweise

Für die Wärmeträger Wasser oder Wasser-Glykol-Gemisch gibt es bereits viele industrielle Anwendungen von PCM-Speichern. Sie können sowohl für Wärme als auch für Kältespeicherung an-

Persönliches Exemplar: Weitergabe nicht gestattet, Inhalte unterliegen dem Schutz des deutschen Urheberrechts
© Copyright Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.



Quelle: Axiotherm

Bild 6: Aufbau eines PCM-Wärmespeichers und Luftzirkulation

gewendet werden. Für den Wärmeträger Luft gibt es auch industrielle Fertigung in makroverkapselter Form mit einem optimierten Oberflächen-zu-Masse-Verhältnis. Die Makroverkapselungen bestehen aus dünnen Kunststoffplatten, die blasgeformt sind. Die Salzhydrat- oder anderen PCM-Schichtdicken befinden sich zwischen zwei solchen Kunststoffplatten. Die Schichtdicken werden so gering gehalten, dass das gesamte PCM am Phasenwechselprozess teilnimmt und so eine effiziente Wärmeübertragung auch bei niedrigen Temperaturdifferenzen realisiert werden kann. Mehrere Platten werden in einem Register wie in einem Sandwichtyp verbunden (Bild 6), mehrere Register bilden ein Speichermodul.

Bei der Auswahl eines PCM Speichers für Trocknungsprozesse spielen der Standort bzw. die Sonneneinstrahlung, der Kollektortyp bzw. die Kollektorfläche, die Lade-Endladeleistung und Stabilität sowie die Einbausituation die wesentliche Rolle. Für Anwendungen mit Solarluftkollektoren sind PCM-Speicher mit Schmelztemperaturen im Bereich von 40° bis 65°C bestens geeignet. Im Vergleich zu konventionellen Pufferspeichern kann hier die Energiedichte bis zu 2mal größer sein. Für den Energieträger Luft gibt es nach unseren Recherchen keine Anwendung zur Implementierung von PCM-Speichern in solaren Trocknungsprozessen von landwirtschaftlichen Produkten in der Praxis. Wegen der klaren Vorteile dieser Wärmespeicherart lohnt es sich in dieser Richtung technisch, die dualen Technologien zu erforschen und alle Optimierungsmaßnahmen zu treffen, um die wirtschaftlich effizienten Anwendungen ermöglichen zu können.

Sorptionsspeicher

Man definiert hier die Sorption begrenzt und zielgerecht auf das Thema Warmluftspeicherung. In diesem Sinne ist die Sorption der Oberbegriff für die Anreichung der Luft in einem Phasengrenzgebiet (Solid), die über die Konzentrationen innerhalb der Phasen hinausgeht (Adsorption-Desorption). Sorption findet an den Grenzflächen zwischen gasförmiger Phase (warme/kalte Luft) und fester Phase (poröser Feststoff) statt. Diese Definitionsbegrenzung ist bewusst gewählt, denn nur mit den entsprechenden technologischen Speicherkonzepten kann man einfach und direkt solare Warmluft, die von Solarluftkollektoren erzeugt wird, über den Tag parallel zur Trocknungsprozess und Wärmespeicher einführen. Über Nacht soll die gespeicherte Warmluft weiter in Trocknungsprozess eingeleitet werden. Diese Dualität sollte ausschließlich nur mit der Solarlufttechnik ohne zusätzliche Hilfssysteme realisiert werden. Die gewünschte reine solare Kontinuität des gesamten Trocknungsprozesses wird damit gesichert.

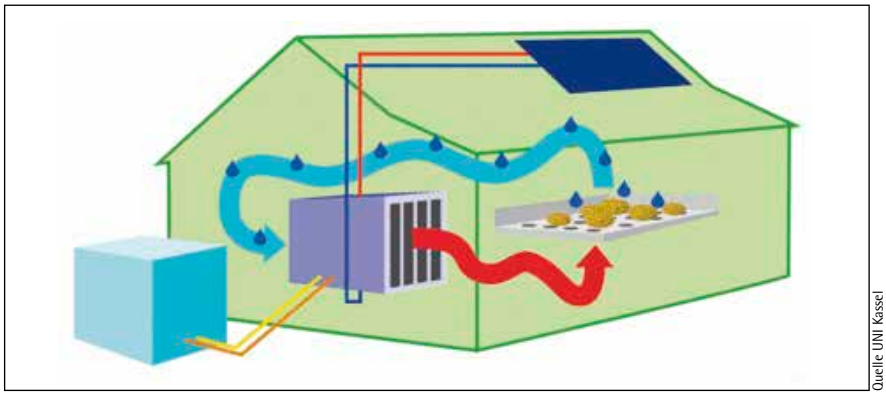
Grundprinzip: Silicagel ist einen stark poröser Feststoff mit einer großen innere Oberfläche: ein Gramm Silicagel hat eine erstaunlich große innere Oberfläche von etwa 600 m^2. Diese chemische Struktur hat die Eigenschaft, die Feuchte aus der Luft anzuziehen und an ihrer Oberfläche anzulagern (Adsorption), wobei Wärme frei wird (Entlade-Phase). Umgekehrt muss zum Trocknen von Silicagel (Desorption) Wärmeenergie in Form von heißer Luft aufgewendet werden. Diese sogenannte Beladen-Phase verlangt Lufttemperaturen von 80 bis zu 110°C, die in der Praxis mit einem Vakuum-Röhrenluftkollektor erreicht werden können. Die Feuchteadsorption durch Silicagel ist abhängig von der Temperatur und vom Druck. Durch Druckänderungen im System kann die Speichertemperatur geändert werden. Daher wird an der Entwicklung von Materialien gearbeitet, die bei normalem Druck eines Solarluftkollektors eine gute Adsorption von Wasserdampf zeigen. Statt Silicagel können die Zeolithe (Metallhydride) – auch große poröse Feststoffe - als Wärmespeicher verwendet werden, die jedoch höhere Betriebstemperaturen benötigen.

Technische Merkmale

- Die höchste Speicherdichte von bis zu 300 kWh/m^3 (Silicagel) gegenüber nur etwa 60 kWh/m^3 bei Wasser und 120 kWh/m^3 bei PCM-Speicher
- Die geladene Wärme kann über lange Zeit verlustfrei gespeichert werden
- Langzeitstabilität des Sorptionsprozesses; er kann nahezu beliebig oft wiederholt werden
- Das Trocknen von Silicagel (Wärmeladen) kann mit den kommerziellen solaren Luftkollektoren gesichert werden

Wenngleich für die Luftentfeuchtung Silicagele bzw. Zeolithe in vielen gewerblichen Beispielen angewendet werden, werden sie in Speichersystemen noch nicht genutzt. Es sind zurzeit einige Pilotprojekte gestartet worden, bei denen die Warmluft als Energieträger für die Heizungsunterstützung der Gebäude mit Sorptionsspeicher gespeichert wird. Wie beim PCM-Speicher wurden laut unseren Recherchen in der Praxis noch keine konkreten Anwendungen von Sorptionsspeichern in Verbindung mit Trocknungsprozessen von landwirtschaftlichen Produkten realisiert.

Forscher der Universität Kassel haben einen neuartigen Sorptionsspeicher für solare Wärme entwickelt. Das Speicherprinzip ist einfach: Eine wässrige Lithiumchloridlösung wird durch solare Wärmezufuhr aufkonzentriert. Die so ge-



Quelle UNI Kassel

Bild 7: Solar-Sorptionsspeicher auf Lithiumchlorid-Basis

Persönliches Exemplar: Weitergabe nicht gestattet, Inhalte unterliegen dem Schutz des deutschen Urheberrechts
© Copyright Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.

Speicherart	Energiedichte	Speichermedien, z.B.:	Arbeitstemperatur
Sensibel	ca. 60 kWh/m³	Wasser	< 100 °C
Latent	bis zu 120 kWh/m³	Salzhydrat Parafine	ca. 30-80 °C ca. 10-60 °C
Themochemisch (Sorption)	bis zu 200-500 kWh/m³	Silicagele Zeolithe	ca. 40-100 °C ca. 100-300 °C

Quelle: BINE Projekt Info 2/01

Tabelle 2: Erzielbare Energiedichten verschiedener Wärmespeicher

speicherte Wärme wird wieder freigesetzt, indem die stark hygroskopische Salzlösung Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufnimmt. Sonnenenergie kann so in Form einer konzentrierten Salzlösung chemisch gespeichert werden. Eine vielversprechende Anwendung ist die solarunterstützte Trocknung von Heilpflanzen und Obst.

Schlussfolgerungen

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Merkmale aller drei Wärmespeicherarten zusammengestellt, die für die Implementierung in Trocknungsprozesse von landwirtschaftlichen Produkten technisch geeignet sind.

Die Möglichkeit, die technische Kombination von Luftwärmespeichern in solaren Trocknungsprozessen - intelligent und wirtschaftlich - zu integrieren, kann für die Solartrocknung von landwirtschaftlichen Produkten neue Horizonte für eine breite Anwendung in Deutschland und Mitteleuropa eröffnen. Damit wird der große Nachteil der Solarenergienutzung - die zyklische Wärmeverfügbarkeit (Tag-Nacht) - teilweise oder auch komplett überwunden. Wenn dies kommerziell erreichbar wäre, dann wird die ganze Kette von Anbau, Ernte und technologischen Prozessen von landwirtschaftlichen Produkten und besonders von Heilpflanzen, die die niedrigsten Trocknungstemperaturen (bis zu max. 45°C) benötigen, in Deutschland anders betrachtet werden. In diesem Sinne ist daher eine zielorientierte Forschung und Entwicklung von technologischen und wirtschaftlichen Konzepten sowie passenden Materialien unter tatsächlichen Anwendungsbedingungen entsprechend des Themas äußerst sinnvoll. Aber das genügt unserer Ansicht nach bei weitem nicht aus. Um die wirtschaftlichen Hürden zu überwinden, sollte die Politik entsprechende spezielle Fördermittel zur Verfügung stellen. Zwar hat die aktuelle Richtlinie für die Förderung von Prozesswärme als ersten Fördergegenstand „Wärmespeicher für beantragte Wärmeerzeuger“ (BAFA 2021) genannt. Für die Beschleunigung der Implementierung von Warmluftspeichersysteme in solare Technologien von landwirtschaftlichen Produkten, die so viele energetische und umweltrelevante Vorteile anbieten können, sollte es, adäquat zur Batterieförderung in der Phtovoltaik, ein spezieller Fördertopf nur für solche Wärmespeichersysteme geschaffen werden, um Systeme zu entwickeln, die in Temperaturbereichen für Trocknungszwecke von landwirtschaftlichen Produkten effizient und wirtschaftlich wirken.

Die Energiewende verlangt Umdenken und Innovation, das gilt ohne Frage auch für die Entwicklung und Standardisierung von solaren Warmluftspeicherungssystemen.

Quelle

[1] www.energieundinnovation.de/komponenten/waermespeicher/steinspeicher

ZUM AUTOR:
▶ *Dipl.-Ing. Corneliu Prodan*
Prody Solar, Berlin
www.prody-solar.de

Save the dates!

» Energie- & Klimapolitik
» Zukunftsprojekte
» Recht & Regelwerke
» Abfallvergärung
» Praxisberichte
» BIOGAS Fachforum digital & live

BIOGAS Convention
22.–26. November 2021
Digital

Save the dates!

BIOGAS Trade Fair
7.–9. Dezember 2021
NCC Mitte, Messegelände Nürnberg

Fachverband BIOGAS

Aktuelle Informationen und Anmeldung:
www.biogas-convention.com

Persönliches Exemplar: Weitergabe nicht gestattet, Inhalte unterliegen dem Schutz des deutschen Urheberrechts
© Copyright Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.