

UNSER KNOW-HOW FÜR ÄGYPTEN:

PROTEIN-FACTORY – BENHA, EGYPT KLIMATISIERUNG DER ZUCHTPFANNEN

Die Maßnahme:

In der Protein-Factory werden im industriellen Maßstab Proteine aus Insekten als Futtermittel für Geflügel und Fisch produziert. Die Baumaßnahme ist eine Pilotanlage, mit der die Rahmenbedingungen für eine Produktion in heißen Ländern bestimmt und getestet werden soll.

Das Verfahren:

Es werden in mit Nährstoff-Substrat gefüllten Brutpfannen Insektenlarven gezüchtet. Bei der Entwicklung der Larven wird Wärme, Feuchte und Ammoniak usw. frei abgeführt werden muss. Zur optimalen Entwicklung werden hohe Anforderungen an die klimatischen Rahmenbedingungen geknüpft.

Der Auftrag:

Das **INGENIEURBÜRO SIMON** wird beauftragt, für die Klimatisierung eine Lösung zu entwickeln, die zu einer wirtschaftlichen Zucht beiträgt.

Die bekannten Lösungen mittels Luft als Wärmeträger und maschineller Kälteerzeugung konnten uns nicht überzeugen, da sie energetisch aufwändig und kostspielig sind.

Die Lösung:

Wir konnten den Bauherrn überzeugen, dass ein Konzept mit „stiller Kühlung“ – für die Wärmeanfuhr, kombiniert mit einer Lüftungsanlage für die Abfuhr der Feuchte und Schadgase eine bessere Technik darstellt. Die dabei wichtigste konstruktive Maßnahme ist, die Brut-Pfannen in massivem Beton auszuführen und den Beton thermisch zu aktivieren.

Für die Kühlung der aktivierten Beton-Pfannen genügt Kühlwasser mit einer Temperatur um 30 °C. Die Wärmeabfuhr aus der Brut erfolgt durch Wärmeleitung und -Strahlung – von der darüber liegenden Pfanne. Das Kühlwasser wird ohne mechanische Kühlung in einem hybriden Rückkühlwerk hergestellt. Dieses Verfahren ist auch bei höchsten Außentemperaturen in Benha, Ägypten ganzjährig gewährleistet.

Die Betonpfannen haben durch ihre große Masse auch eine extreme Temperatur-Trägheit – der Ausfall der Kühlung für ein oder zwei Tage ist durch diese Trägheit für die Entwicklung der Brut unproblematisch.

Die Lüftungsanlage erhält eine adiabatische Vorbefeuchtung, mit der die Zuluft auf ein erträgliches Maß gekühlt wird und die gleichzeitig als Wäscher zur Eliminierung der Schadgase in der Abluft dient.

Das – vorläufige – Ergebnis:

Da es sich bei der Produktion um einen Joint-Venture mit amerikanischen und chinesischen Partnern handelt, konnte der Bauherr eine konventionelle Pilotanlage parallel dazu errichten, um einen wirtschaftlichen Vergleich der beiden Varianten vorzunehmen. Der offizielle Vergleich steht noch aus – aber es zeichnet sich ab, dass das von uns vorgeschlagene Verfahren – deutlich sichtbar – schon nach der Inbetriebnahme mit Abstand die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

1. SITUATION

In Benha bei Kairo soll eine Fabrik für die Produktion von Fliegenlarven als Protein-Quelle entstehen. Vorgeschaltet ist dem Projekt eine kleine Pilotanlage, in der die Rahmenbedingungen für die optimalen Zuchtergebnisse geprüft werden sollen.

Primär geht es um die Kühlung der Zuchtpfannen, in denen sich die Larven entwickeln und die dabei emittierte Wärme und Feuchte muss abgeführt werden, da der Hitzetod droht.

Es wird vorgeschlagen, die Kühlung nicht mittels einer konventionellen Klimaanlage durchzuführen, sondern eine alternative – natürliche – Kühlung zu prüfen, mit der die Zuchtpfannen direkt gekühlt werden und Primärenergie eingespart wird.

2. AUFTRAG

Das INGENIEURBÜRO SIMON wurde beauftragt, eine Planung auf dem Prinzip der natürlichen Kühlung durchzuführen.

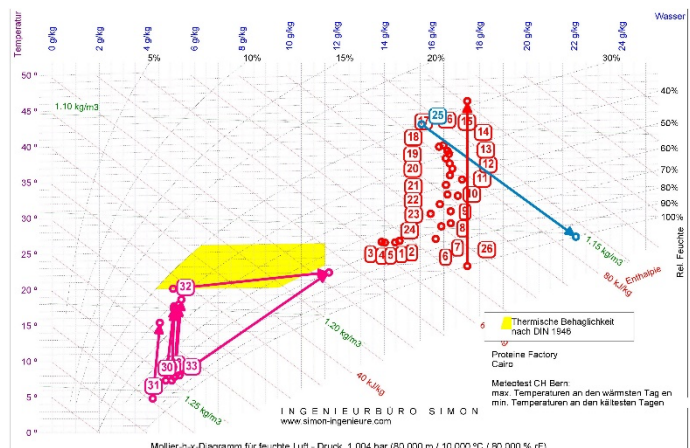
Das Projekt wird von der European Bank gefördert und finanziert.

3. GRUNDSÄTZLICHES

Die Pilotanlage soll in einer bestehenden Halle mit ca. 6,4 m Raumhöhe installiert werden. Es werden dafür 2 Räume mit je ca. 65 m² abgetrennt, die mit jeweils 20 Pfannen à 4 m² Grundfläche in 2 Reihen und 5 Ebenen sowie 10 Pfannen à 3,4 m² in 5 Ebenen angeordnet werden (siehe Plan). Insgesamt also 114 m² Netto-Pfannenfläche.

Nach Angaben des Bauherrn sind folgende Rahmenbedingungen zu beachten:

1. Die Larven entwickeln sich in einem Substrat biogenen Überresten.
 2. Pro 1 m² Zuchtpfanne befinden sind 40 kg Substrat einschließlich Maden.
 3. Zu Beginn des Entwicklungsprozesses hat das Substrat einen Feuchteanteil von 70 % entsprechend 28 kg Wasser.
 4. Am Ende des Prozesses hat das Substrat noch eine Feuchtigkeit von 30 % also 12 kg Wasser.
 1. Es verdunsten also innerhalb von 8 Tagen 16 kg Wasser mit einer Verdampfungsenthalpie von 40.000 kJ \approx 11 kWh – innerhalb von 8 Tagen \approx 192 Stunden.
 2. Dies entspricht einer Kühlleistung von ca. 55 Watt pro 1 m² Pfanne.
 3. Nach Angaben wird das Substrat um 2,6 kg leichter (trockene Substanz). Dies ist der Brennstoff für die Maden und entspricht ca. 60.000 kJ. Zieht man die Verdunstungswärme von 40.000 kJ ab verbleiben 20.000 kJ \approx 6 kWh.
 4. Bei dieser „kalten“ Verbrennung entstehen außerdem 6 kg CO₂ und 2 kg H₂O in Form von Wasserdampf (in 192 Stunden).
 5. Die Grundlage für die Kühlung und Feuchteabfuhr je 1 m² Pfanne mit einem Sicherheitszuschlag von 50 %, folgende Mindestleistungen:
 1. Wärmeabfuhr > 48 W/m².
 2. Feuchteabfuhr > 95 g/m².
 3. Die Pfannentemperatur soll 40 °C (< 45 °C) betragen.
 4. Die Feuchteabfuhr erfolgt mittels Außenluft über ein Lüftungsgerät. Als mittlere höchste Außenluftkondition werden 42 °C bei einer Feuchte von 31 % r.F. und eine mittlere niederste Außentemperatur von 5 °C und 80 % r.F. (nach Meteotest, CH Bern) angenommen (dies soll Vorort aber noch verifiziert werden).
- Erläuterung des Diagramms:



Links und unter den Pfeilen 25 und 26 liegen die max. Außenluftkonditionen in Kairo. Die höchste Feuchtkugel-Temperatur beträgt 27 °C, d.h. mit der adiabatischen Kühlung durch die Vorbefeuchtung der Fortluft, lässt sich die Zulufttemperatur dann auf minimal 29 °C abkühlen – wenn die Außenluft die max. Temperatur von 42 °C und max. Feuchte von 30 % r.F. hat.

Der Pfeil 31 auf der linken Seite zeigt die minimale Außenluft-Konditionen im Winter. Durch die Wärmerückgewinnung kann die Zulufttemperatur ohne zusätzlichen Luffterhitzer auf ca. 16 °C erwärmt werden.

Die angegebenen Werte sind die Tages-Spitzenwerte, am wärmsten Tag schwankt die Zulufttemperatur dann zwischen max. 29 °C am Tag und min. 24 °C in der Nacht.

4. NATÜRLICHE KÜHLUNG DER PFANNEN.

Die Wärme aus den Pfannen wird durch eine sogenannte Betonaktivierung abgeführt. Die Aktivierung erfolgt über einbetonierte Wasserrohre. Das Wasser wird durch konvektive und bei hohen Temperaturen mit adiabatischer Kühlung über ein Rückkühlwerk temperiert.

Durch das Rückkühlwerk kann auch bei den höchsten Außenluftkonditionen, wie sie im obigen h-x-Diagramm dargestellt sind, das Wasser am Tag auf unter 30 °C gekühlt werden in der Nachtzeit kann sie auf ca. 25 °C absinken. Dies reicht aus, um die Wärme aus den Pfannen abzuführen, so dass das Substrat auf unter 40 °C gehalten werden kann. Eine Reserve entsteht dadurch, dass das Substrat auch mit den darüber liegenden – aktivierten – Pfannen im Strahlungsaustausch stehen.

Durch die hohe Wärmespeicherung des Betons kann der Wasser-Durchfluss bei den höchsten Außentemperaturen eingestellt oder reduziert werden, um dann bei tieferen Außen-Temperaturen (in der Nacht) die Kühlung der Pfannen wieder aufzunehmen.

Eine Betonplatte mit 15 cm Dicke hat bei 1 K Temperaturanstieg eine Wärmekapazität von 83 W/h, d.h., die Pfannentemperatur steigt damit in einer Stunde um ca. 0,6 K. Ohne andere Speicherelemente zu berücksichtigen, somit kann die Kühlung bis zu 5 Stunden am Tag ausgesetzt werden.

Die hohe Wärmekapazität des Betons ist auch hilfreich bei tiefen Außentemperaturen, da die tiefen Temperaturen in den Nachtstunden durch die höheren Temperaturen am Tag ausgeglichen werden.

5. ADIABATISCHES RÜCKKÜHLWERK

Für die natürliche Kühlung der Pfannen wird ein adiabatisches Rückkühlwerk mit einer Kühl-Leistung von 50 kW vorgesehen, dies reicht mit Reserven aus, um die geplanten ca. 114 m² aktive Beton-Pfannen gut zu kühlen – und der Raum (mit den aktivierten Pfannen) kann auch bei der höchsten Außentemperatur „temperiert“ werden.

Es liegt ein Angebot für das RKW von Refrion vor, mit folgenden Daten:

Lufttemperatur	42 °C	(Wert wurde von Refrion verifiziert und bestätigt)
Rel. Feuchte	31 % r.F.	(Wert wurde von Refrion verifiziert und bestätigt)
Erreichte Feuchtkugel-Temp.	25,9 °C	
Wasserverbrauch	320 l/h	(nur bei max. Leistung und max. Außenluft-Temperatur)
Eintrittstemperatur Wasser	33 °C	
Austrittstemperatur Wasser	28 °C	
Durchsatz	8,600 m ³ /h	
Ventilatorleistung max.	5,4 kW	(nur bei max. Leistung und max. Außenluft-Temperatur)
Schalldruckpegel in 10 m	52 dB(A)	
Gewicht:	ca. 750 kg	
Länge/Breite/Höhe:	4,7 m / 1,4 m / 1,4 m	

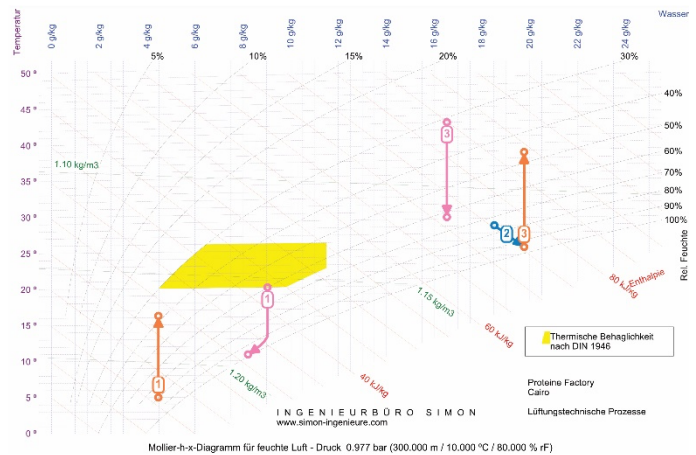
Die Positionierung der RKW ist auf dem Hallendach vorgesehen, allerdings ist unklar, ob das Dach wegen der Belastung dafür geeignet ist.

LÜFTUNGSANLAGE

Wie oben ausgeführt, sind ca. 140 g/h/m² Wasserdampf entsprechend 17,9 kg/h, die aus den Pfannen emittiert werden, über die Be- und Entlüftung abzuführen.

Für das Problem gibt es mehrere Lösungen:

- Über Zuluftöffnungen in den Wänden und Abluftöffnungen im Dach die händisch oder mechanisch geöffnet und geschlossen werden, wird die Feuchtigkeit abgeführt. Dies ist bei höheren Außentemperaturen möglich, bei tiefen Außentemperaturen werden die Räume stark ausgekühlt. Diese Lösung kann nicht empfohlen werden.
- Über ein Lüftungsgerät wird den Räumen mechanisch (im Winter trockene) Außenluft zugeführt. Die Erwärmung der Zuluft erfolgt über eine Wärmerückgewinnung mittels Plattenwärmetauscher. Bei einer Rückwärmzahl von 75 % kann die (niederste) Außentemperatur von 5 °C auf 16,25 °C Zulufttemperatur erwärmt werden, bei einer Raumtemperatur von 20 °C und 60 % r.F. und es werden ca. 23 kg/h Wasserdampf abgeführt. Bei hohen Außentemperaturen ist die Entfeuchtungsleistung der Lüftungsanlage begrenzt. Bei einer Außentemperatur von 42 °C und 31 % r.F. steigt die Raumfeuchte auf 75 % und die Abfuhr der Feuchte aus dem Raum reduziert sich auf 10,5 kg/h und es sind keine Sicherheiten vorhanden.



6. SCHALTSCHEMA UND REGELUNG

Im beiliegenden Schaltschema sind die wesentlichen Anlagenteile dargestellt:

- Lüftungsgerät mit adiabatischer Vorbefeuchtung der Abluft und Wärmerückgewinnung. Die Befeuchtung der Abluft hat auch die Funktion, der Reinigung und Adsorption von Aromaten aus Larvenzucht. Anzumerken ist, dass die Reinigung der Abluft mittels Besprühung, wie vorgesehen möglicherweise nicht vollständig ist.
- Sollte die Reinigung der Abluft ganzjährig in Betrieb sein, ist ein zweiter Befeuchter hinter dem Abluftventilator anzuordnen.
- Rückkühlwerk mit Besprühung.

Rohrleitungen mit Umwälzpumpe zwischen Zuchtpfannen und Rückkühlwerk