



# KELLER ENVIRO KILN

## „Enviro Ofen“

mit unserem neuen Gegenlaufofen in die richtige Richtung

## "Four Enviro"

Marchez dans la bonne direction avec notre nouveau four contrecourant

**KELLER**  
*Creating Solutions*

## Einleitung

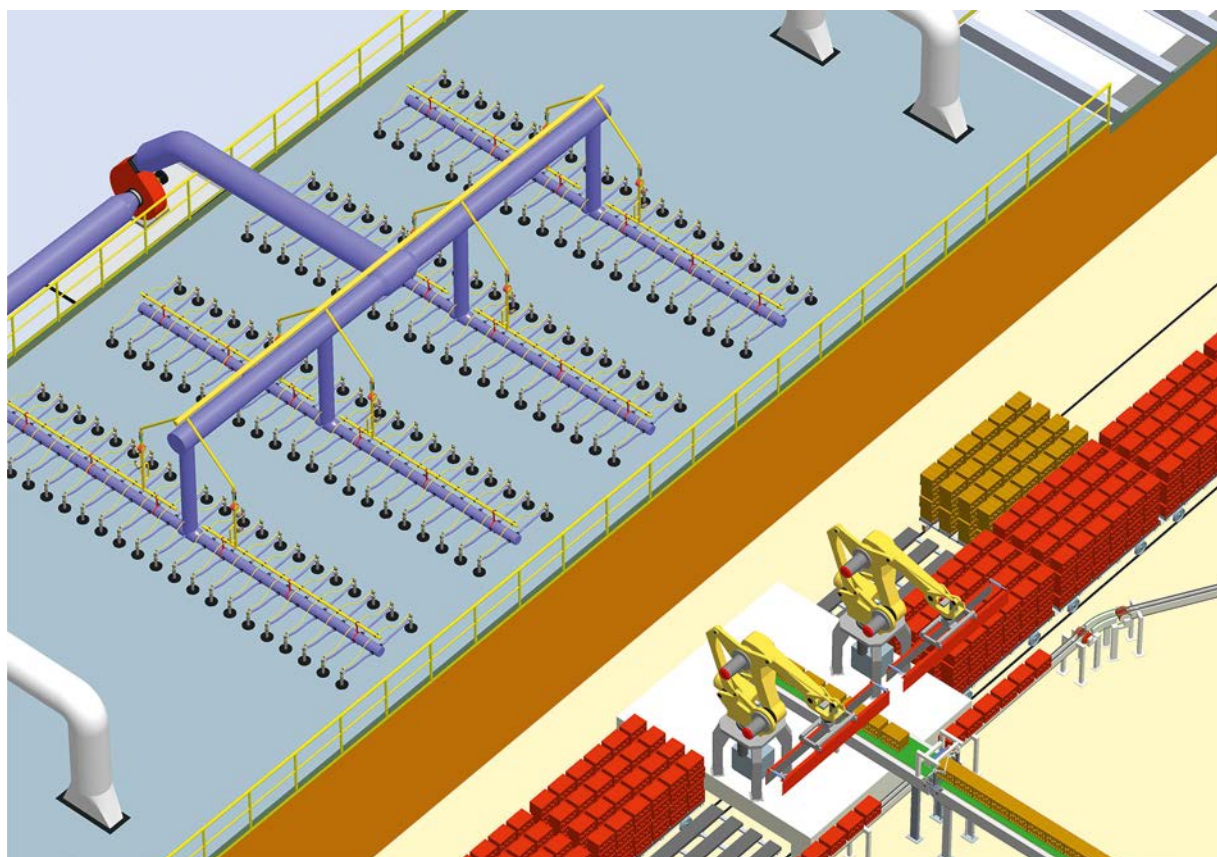
Die Energiewende ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die in Deutschland schon seit vielen Jahren diskutiert und inzwischen von der Mehrheit der Bevölkerung und der Politik getragen wird. Bis zum Jahre 2050 soll beispielsweise die Energieversorgung in Deutschland weitestgehend auf regenerative Energiequellen umgestellt sein. Mindestens ebenso wichtig ist in diesem Zusammenhang die Energieeffizienz, die seit einiger Zeit in den öffentlichen Diskussionen zunehmend die notwendige Beachtung findet. Die Firma KELLER hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Energieeffizienz in Ziegelwerken nachhaltig zu steigern und somit die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken.

Bei den zur Herstellung eines Ziegels notwendigen Prozessen sind zweifelsohne der Trocken- und Brennprozess die energieintensiven Vorgänge. Um den Energiebedarf beim Brennen drastisch zu reduzieren, hat KELLER das Prinzip des Gegenlaufofens grundlegend überdacht und in ein zukunftsfähiges Konzept überführt. Der Energieverbrauch kann somit beispielsweise für eine Dachziegelanlage mit H-Kassetten gegenüber einer modernen konventionellen Anlage um min. **30 %** reduziert werden.

## Introduction

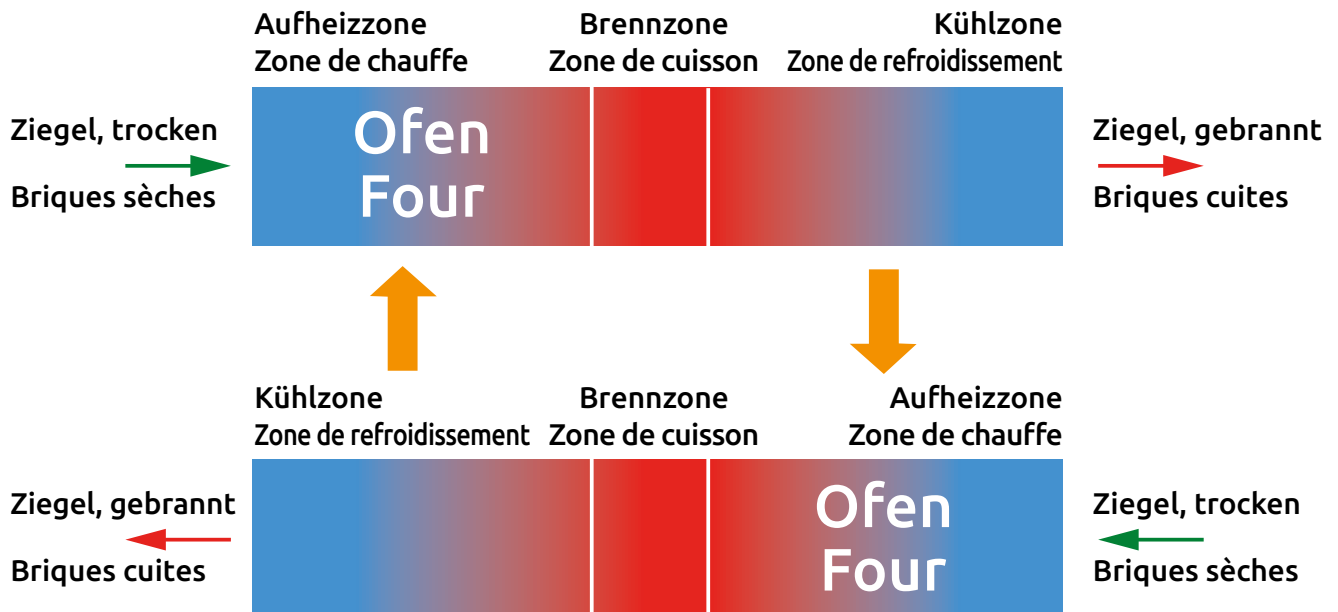
Le tournant énergétique est une mission touchant la société dans son ensemble, c'est un thème récurrent en Allemagne depuis des années, maintenant approuvé par la majorité de la population et de la classe politique. Le but affirmé est, qu'en 2050, l'alimentation énergétique en Allemagne reposera notamment en majorité sur des sources d'énergie renouvelables. Dans ce contexte, l'efficacité énergétique est tout aussi importante et représente depuis un certain temps un thème au centre du débat public. La société KELLER s'est fixé comme mission d'accroître durablement l'efficacité énergétique dans les tuileries et briqueteries et, par là même, de diminuer les émissions en CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie.

Les processus de séchage et de cuisson sont incontestablement ceux qui consomment le plus d'énergie lors de la fabrication de briques/tuiles. KELLER a fondamentalement repensé le principe du four contrecourant sur la base d'une approche durable afin de réduire de manière radicale le besoin en énergie lors de la cuisson. La consommation énergétique peut ainsi être par exemple réduite pour une tuilerie avec des cassettes en H d'au moins **30 %** par rapport à une installation conventionnelle moderne.



# Gegenlaufofen

## Four contrecourant



### Energie-Transfer: Solid → Solid

### Transfert énergétique solide → solide

Bild 1 Prinzip Gegenlaufofen in der Draufsicht  
Schéma n° 1 Principe du four contrecourant (vue du dessus)

#### Der Brennprozess

Im konventionellen Tunnelofen erfolgt der Energietransfer nach dem Fluid-Solid-Prinzip. Das heißt, es wird Luft eingesetzt, um Energie zu transportieren. Faktisch bedeutet dieses, dass heiße Luft aus der Kühlzone des Ofens zur Verfügung steht, die an anderer Stelle genutzt werden muss, und weiterhin Luft durch die Brennzone strömt und in Form von Rauchgasverlusten den Ofen verlässt. Um den Energieverbrauch des Brennprozesses signifikant zu reduzieren, sind diese Energieströme zu reduzieren oder gar zu eliminieren. Wie kann das gelingen?

#### Le processus de cuisson

Le transfert énergétique se fait selon le principe fluide-solide dans un four tunnel conventionnel. Cela signifie qu'on utilise de l'air pour transporter de l'énergie. Dans les faits, cela signifie que l'air chaud provenant de la zone de refroidissement du four est à disposition et doit être utilisé ailleurs tandis que l'air poursuit sa traversée de la zone de cuisson et quitte le four sous forme de pertes de fumées. Afin de réduire la consommation énergétique du processus de cuisson de manière significative, il faut diminuer ces flux énergétiques voire les éliminer entièrement. Comment réussir ce défi ?

Die Antwort auf diese Frage ist schwierig und dennoch nicht unbekannt. Der Gegenlaufofen vereint grundsätzlich zahlreiche Vorteile. Der Energietransfer im Gegenlaufofen erfolgt nach dem Solid-Solid-Prinzip (siehe Bild 1) und nicht wie im klassischen Ofen nach dem Fluid-Solid Prinzip. Somit ist sichergestellt, dass keine Luft in Form von Längsströmung durch die Brennzonen strömt, wodurch die Rauchgasverluste stark reduziert werden. Weiterhin gibt es keine Energieabfuhr aus der Kühlzone und somit ist eine Kopplung mit dem Trockner hinfällig. Bekannte Gegenlauföfen sind zweigleisig mit ca. 3 bis 4 m breiten Ofenwagen. Der Energietransfer von einem zum anderen Gleis erfolgt über freie Konvektion (siehe Bild 2). Verbesserungspotenzial haben diese Öfen hinsichtlich der Vergleichmäßigung sowie der Intensivierung der Konvektion durch eine Zwangsbelüftung. Ein Strahlungsaustausch ist aufgrund der Trennwand zwischen den Gleisen nicht möglich.

Weiterhin bekannt sind theoretische Betrachtungen z. B. von Universitäten und Instituten. KELLER hat sich mit den bekannten Ergebnissen und Grundlagen des Gegenlaufofens intensiv auseinandergesetzt und durch Neugestaltung und Modifikation den neuen Gegenlaufofen „Enviro“ geschaffen. Dieser Ofen eliminiert bestehende Nachteile und nutzt die bekannten Vorteile, sodass ein völlig neues Brennkonzept mit hohem Energieeinsparpotenzial entstanden ist.

La réponse à cette question est difficile mais cependant connue. Le four contrecourant regroupe fondamentalement de nombreux avantages. Le transfert d'énergie du four contrecourant fonctionne selon le principe solide-solide (cf. schéma n°1) et non selon le principe fluide-solide comme dans un four classique. On s'assure ainsi qu'aucun air ne traverse la zone de cuisson sous forme de courant longitudinal ce qui réduit considérablement les pertes de fumées. De plus, il n'y a pas d'évacuation de l'énergie hors de la zone de refroidissement et le couplage avec le séchoir n'est donc plus nécessaire. Les fours contrecourants connus ont deux voies avec des wagons de four d'environ 3 à 4 m de largeur. Le transfert énergétique d'une voie à l'autre se fait par convection libre (cf. schéma n°2). Il existe un potentiel d'optimisation pour ces fours sur le plan de l'homogénéisation ainsi que de l'intensification de la convection au moyen d'une ventilation forcée. Un échange de rayonnement est impossible du fait d'une paroi de séparation entre les voies. Il existe en outre des considérations théoriques provenant notamment d'universités ou d'instituts. La société KELLER s'est penchée avec attention sur ces résultats connus et sur les principes du four contrecourant et, grâce à des aménagements et modifications, a créé le nouveau four contrecourant « Enviro ». Ce four élimine les désavantages existants et utilise les avantages connus si bien qu'un tout nouveau concept de cuisson avec un grand potentiel d'économie d'énergie a pu voir le jour.

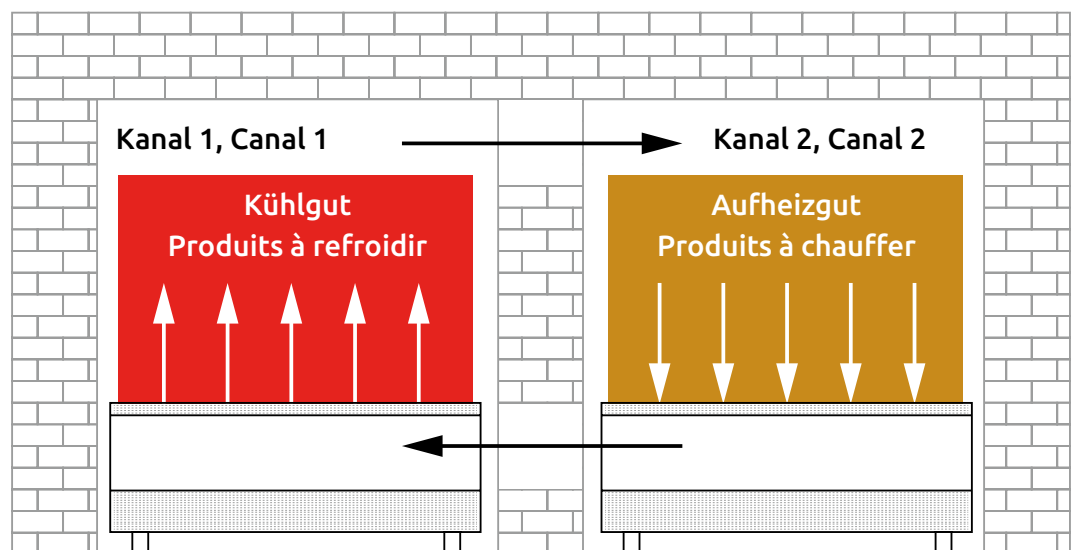


Bild 2 Prinzipdarstellung Querschnitt eines Gegenlaufofens  
Schéma n° 2 Schéma de principe présentant une coupe transversale d'un four contrecourant

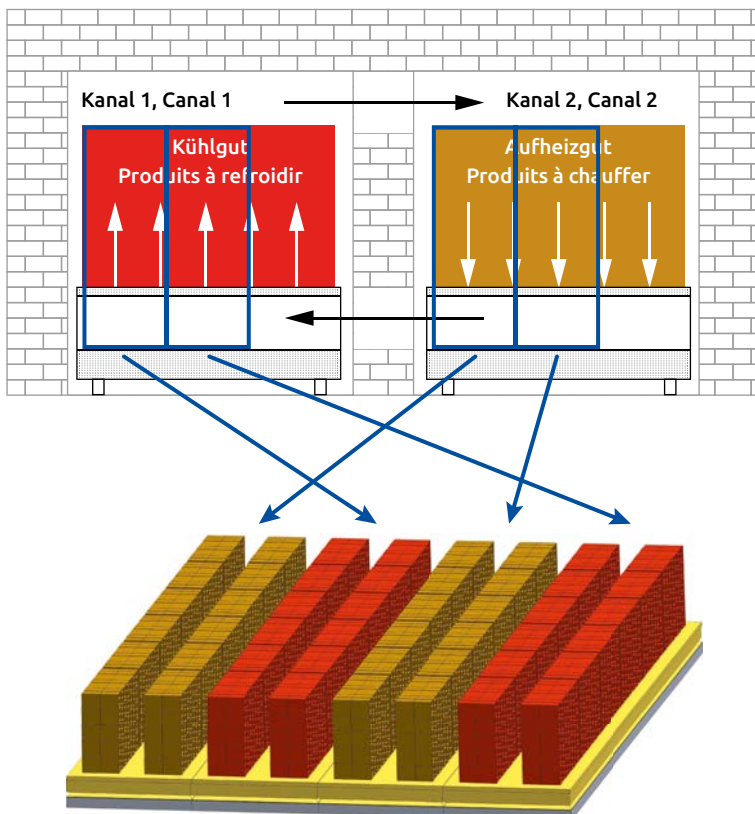


Bild 3 Prinzipdarstellung Querschnitt eines Gegenlaufofens und eines KELLER „Enviro Ofens“  
 Schéma n° 3 Schéma de principe présentant une coupe transversale d'un four contrecourant et d'un four Enviro KELLER

## Der „Enviro Ofen“

Wie ist der „Enviro Ofen“ aufgebaut, wie funktioniert er?

Wichtigste Aufgabe im „Enviro Ofen“ ist, dass der Energietransfer Solid-Solid erfolgreich abläuft. Deshalb ist es naheliegend, dass die nebeneinander herfahrenden Produktströme geometrisch begrenzt sind, die Konvektion als Zwangskonvektion ausgeführt ist und die Wärmeübertragung mittels Strahlung möglichst vollständig genutzt wird. Um diese Anforderungen zu erzielen, hat KELLER die Ofenwagen gedanklich in Scheiben geschnitten und nebeneinander aufgereiht (siehe Bild 3). Auf diese Weise bildet sich eine Mehrzahl an Ofenwagen, auf denen aufzuheizende und abzukühlende Produkte sich nebeneinander gegenläufig bewegen. Die Wärmeübertragung findet hierin optimale Rahmenbedingungen. Über die Länge des Ofens sind im Bereich der Konvektion Umwälzventilatoren angeordnet, die für eine Querumwälzung sorgen. Ab einer Temperatur von ca. 700 °C sind diese Umwälzer nicht mehr erforderlich, da der Strahlungsanteil überwiegt und der Wärmeaustausch vorwiegend hierüber erfolgt. In der Brennzone erfolgt wie bei einem konventionellen Ofen der Garbrand. Das Layout des gesamten Ofens ist in Bild 4 dargestellt.

## Le four Enviro

Comment est construit le four Enviro et comment fonctionne-t-il ?

La tâche la plus importante pour le four Enviro réside dans un transfert énergétique solide-solide réussi. Il est donc tout naturel que les flux de produits circulant les uns à côté des autres soient limités géométriquement, que l'exécution de la convection soit de type forcé et que le transfert thermique via rayonnement soit utilisé au maximum. Pour répondre à ces exigences, KELLER a, en pensées, coupé les wagons de four en tranches et les a placées les unes à côté des autres (cf. schéma n°3). De cette manière, on obtient un grand nombre de wagons de four sur lesquels les produits à chauffer et à refroidir se font face. Le transfert thermique trouve ici des conditions générales optimales. Des ventilateurs de circulation sont agencés dans la zone de convection sur la longueur du four. Ils assurent un brassage transversal. Ces ventilateurs ne sont plus indispensables à compter d'une température d'env. 700°C car la part de rayonnement prédomine alors et l'échange de chaleur se fait principalement via ce dernier. Dans un four traditionnel, la cuisson finale/émail a lieu dans la zone de cuisson. Le schéma n° 4 représente le plan du four complet.

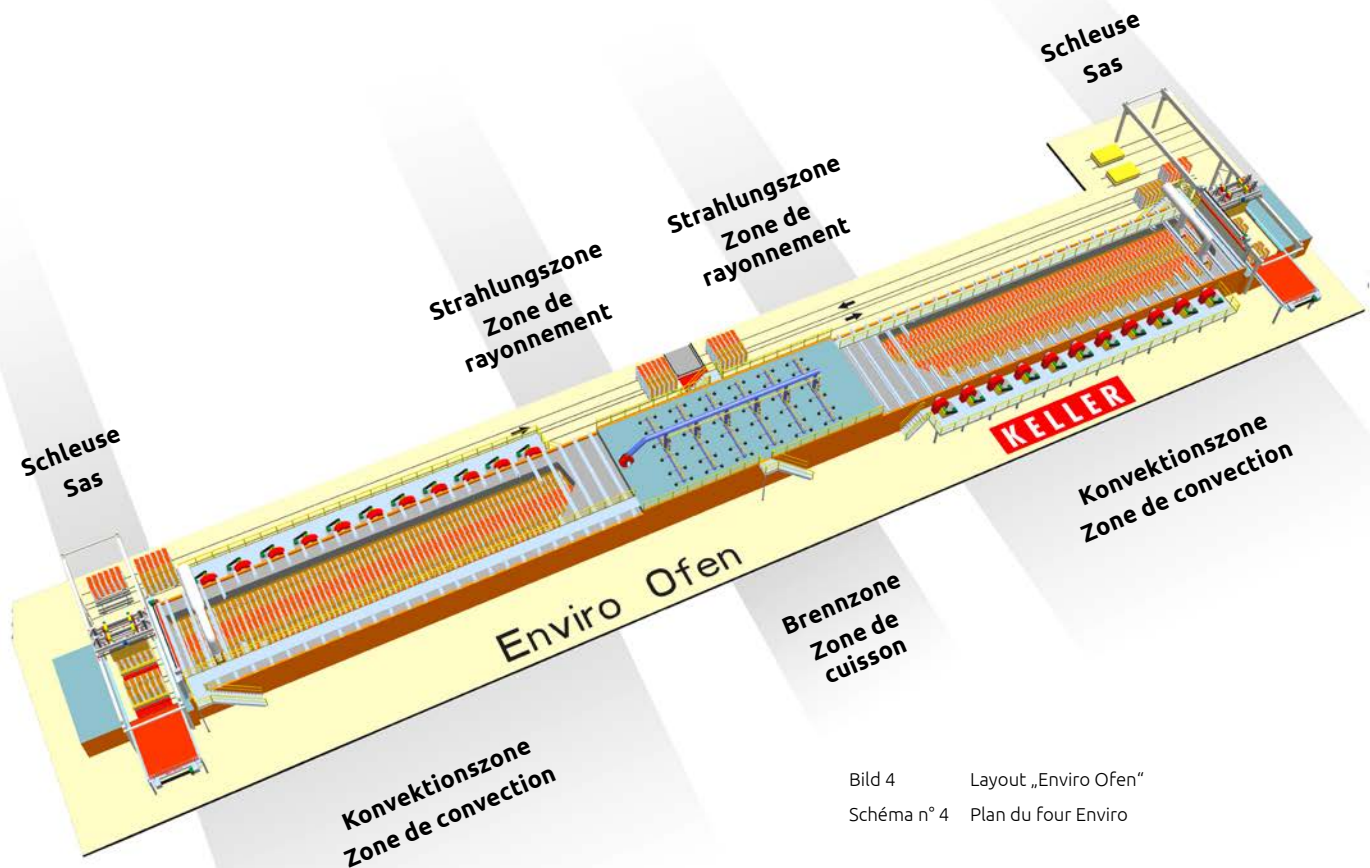


Bild 4 Layout „Enviro Ofen“  
Schéma n° 4 Plan du four Enviro

# KELLER ENVIRO KILN



## Versuchsanlage

Den Überlegungen zur Neugestaltung des Gegenlaufofens sind umfangreiche theoretische Betrachtungen unter anderem mit der Software „Fluent“ in Zusammenarbeit mit der Hochschule Osnabrück vorausgegangen. Um die Erkenntnisse abzusichern und fundierte Messdaten zu erhalten, hat KELLER einen Versuchsofen mit den Abmessungen Breite 5 m, Länge 16 m und Höhe 5 m aufgebaut (siehe Bild 5) und umfangreiche Messwerte aufgenommen.

## L'installation d'essai

Avant d'actualiser le four contrecourant, KELLER a travaillé sur de nombreuses réflexions théoriques approfondies reposant entre autres sur le logiciel Fluent. Afin d'assurer les connaissances acquises et de disposer de données de mesure fondées, KELLER a construit un four d'essai avec une largeur de 5 m, une longueur de 16 m et une hauteur de 5 m (cf. schéma n°5) et a établi de nombreux protocoles de mesure.



Bild 5 „Enviro“ Versuchsanlage der Fa. KELLER  
Photo n° 5 Four d'essai Enviro par KELLER

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

Auch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, die sich in vielfältiger Weise für Umweltschutzprojekte einsetzt, hat das Potenzial des neuen „Enviro Ofens“ erkannt und den Aufbau der Versuchsanlage finanziell gefördert.

La Fondation Fédérale allemande pour l'Environnement (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), qui s'engage de diverses manières dans des projets de protection de l'environnement, a reconnu le potentiel du nouveau four Enviro et a subventionné la construction du four d'essai.

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)



## Strömungstechnik

Um hochwertige Brennergebnisse zu erzielen, muss im Besatzraum ein gleichmäßiges Strömungsprofil erreicht werden. Dieses konnte durch gezielte Einbauten erreicht und messtechnisch an unterschiedlichen Ebenen nachgewiesen werden (siehe Bild 6). Schon eine Luftgeschwindigkeit von kleiner 1 m/s reicht aus, um die notwendige Wärmeübertragung im konvektiven Bereich sicherzustellen.

## Ingénierie des fluides

Pour atteindre des résultats de cuisson haute qualité, il faut avoir un profil de flux homogène pour la charge. Ceci a été atteint grâce à des équipements ciblés et prouvé par des mesures à différents niveaux (cf. schéma n°6). Une vitesse de l'air < à 1 m/s suffit déjà pour garantir le transfert thermique nécessaire dans la zone convective.

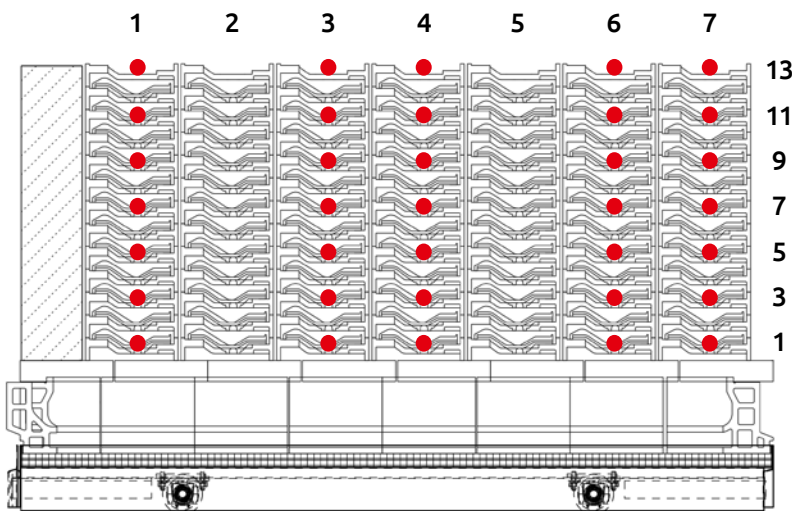
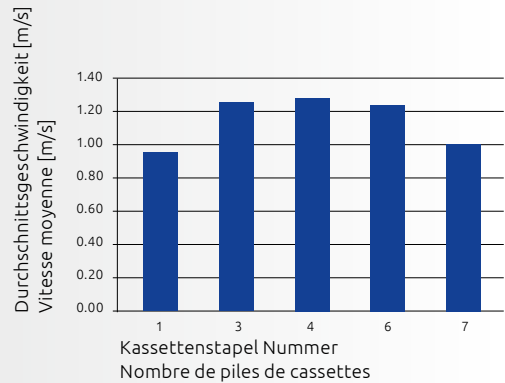
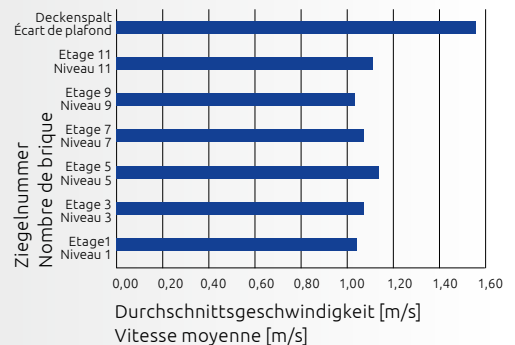


Bild 6 Geschwindigkeitsverteilung im Dachziegelbesatz  
Schéma n° 6 Répartition de la vitesse dans la charge de tuiles

### Strömungsgeschwindigkeit im Besatz Vitesse de flux dans la charge



### Strömungsgeschwindigkeit in den Etagen Vitesse de flux dans les niveaux



## Thermodynamik

Die Wärmeübertragung nach dem Solid-Solid Prinzip funktioniert. Jeweils nach einem TOW Schub kann die „Aufheizung“ der einen Besatzscheibe und die „Abkühlung“ der anderen Besatzscheibe messtechnisch erfasst und die Wärmeübertragung nachgewiesen werden (siehe Bild 7). Da es sich beim „Enviro Ofen“ prinzipiell um eine „Einzelsteinbehandlung“ handelt, ergibt sich eine sehr gute Temperaturverteilung im Besatz und es können an den kritischen Haltepunkten höhere Heiz- und Kühlgradienten gefahren werden als es aus konventionellen Öfen bekannt ist – und dass bei gleichbleibend hoher Produktqualität. Auch andere Produkte wie z. B. Vormauerziegel, Riemchen, Hintermauerziegel oder auch nicht keramische Produkte können im neuen KELLER „Enviro Ofen“ gebrannt werden.

## Thermodynamique

Le transfert thermique fonctionne selon le principe solide-solide. Après chaque poussée de wagon de four tunnel, la « chauffe » d'une tranche de la charge et le « refroidissement » d'une autre tranche de la charge sont mesurés et le transfert thermique est prouvé (cf. schéma n°7). Comme le four Enviro se charge sur le principe du traitement individuel de chaque produit, il en résulte une bonne répartition de la température au sein de la charge et on peut utiliser des gradients de chauffe et de refroidissement plus élevés aux points d'arrêt critiques que pour des fours conventionnels et ce, avec une même haute qualité des produits. D'autres produits comme par ex. les briques de parement, de remplissage, les plaquettes ou autres produits non céramiques peuvent aussi être cuits dans le nouveau four Enviro de KELLER.



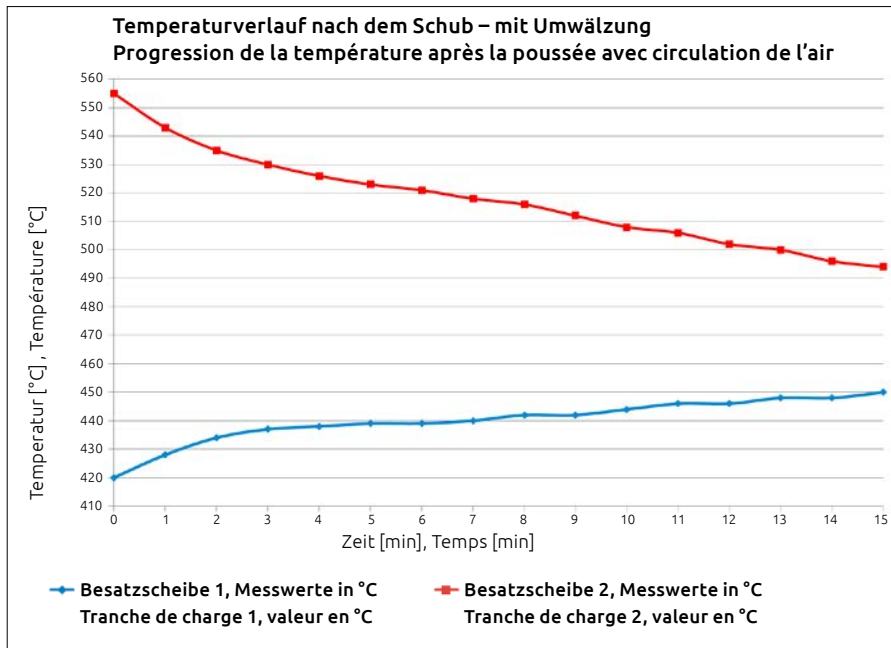


Bild 7  
 Temperaturangleichung  
 zwischen zwei Besatz-  
 scheiben  
 Schéma n° 7  
 Homogénéisation de la  
 température entre deux  
 tranches de charge

**Energie sparen –  
 Betriebskosten reduzieren**

**Économies d'énergie –  
 Réduction des coûts d'exploitation**

Das Energieeinsparpotenzial, welches sich mit dem neuen „Enviro Ofen“ ergibt, lässt sich anschaulich mit Hilfe eines Sankey-Diagrammes darstellen (Bild 8 und 9). Am Beispiel einer modernen Dachziegelanlage mit H-Kassetten zeigt sich, dass sich der Gesamtenergiebedarf für Trocknen und Brennen von 631 auf 398 kcal/kg Dachziegel reduzieren lässt.

Un diagramme de Sankey montre clairement le grand potentiel d'économie d'énergie que présente le nouveau four Enviro (schémas 8 et 9). Cet exemple de tuilerie moderne à cassettes en H montre que la consommation énergétique totale pour le séchage et la cuisson peut être réduite de 631 à 398 kcal/kg de tuiles.

**Berechnung Energieverbrauch, Calcul de la consommation énergétique**

Anlagenparameter, Paramètres de l'installation		
Leistung, Capacité :	23 Mio Dachziegel/Jahr (233 to/Tag), 23 millions tuiles par an (233 t/jour)	
Gewicht des Dachziegels, Poids de la tuile :	3,56 kg	
Gewicht der H-Kassette, Poids de la cassette en H :	4,9 kg	
Anmachwassergehalt, Teneur en eau de gâchage :	19 %	
Glühverlust, Perte au feu :	6 %	
	kcal/kg Dachziegel, kcal/kg tuiles	
	Konventionell, Conventiennel	Enviro
Rohstoffenthalpie, Enthalpie de la matière première	30	30
Rauchgas, Fumées	249	100
Abstrahlung, Rayonnement	18	51
Ausfahrverluste, Pertes de sortie	67	31
Ofenluft zum Trockner, Air du four vers séchoir	267	0
<b>Summe Ofen, Total pour le four</b>	<b>631</b>	<b>212</b>
Trockner- Zuheizen über Gas, Chauffage au gaz suppl. du séchoir	0	186
<b>Summe Trockner, Total pour le séchoir</b>	<b>267</b>	<b>186</b>
<b>Gesamt für Trocknen und Brennen Total pour le séchage et la cuisson</b>	<b>631</b>	<b>398</b>

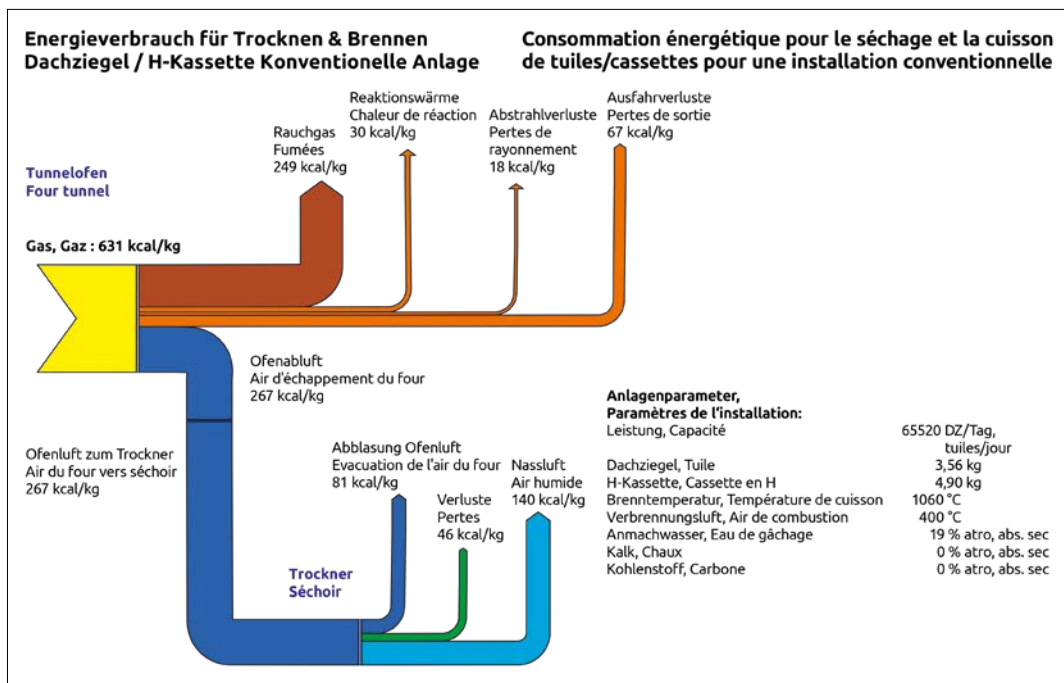


Bild 8 Sankey Diagramm einer modernen konventionellen Dachziegelanlage mit H-Kassette  
Schéma n° 8 Diagramme de Sankey pour une tuilerie conventionnelle moderne avec cassettes en H

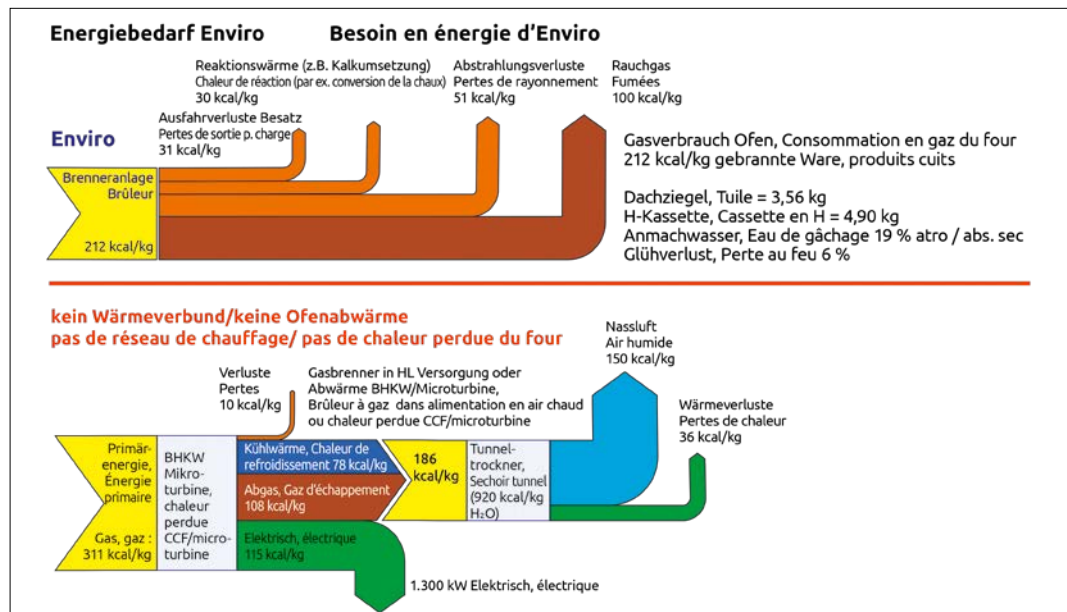


Bild 9 Sankey Diagramm einer Gesamtanlage mit „Enviro Ofen“  
Schéma n° 9 Diagramme de Sankey pour une installation complète avec le four Enviro

Mit dem neuen KELLER „Enviro Ofen“ gelingt die Entkopplung von Ofen und Trockner. Auf diese Weise ergeben sich völlig neue Möglichkeiten in der Beheizung des Trockners wie z. B. Niedrigenergetrocknung, Kraft-Wärmekopplung oder auch die Beheizung mit alternativen Brennstoffen. Der Energieversorgung des Trockners kann hierdurch kundenspezifisch und exakt bedarfsorientiert erfolgen. Somit entfallen in vielen Anlagen die bisherige systembedingte Überversorgung des Trockners mit Ofenluft und das „Abblasen“ wertvoller Energie. Das schont die Umwelt, spart Ressourcen und verringert die Betriebskosten – eine lohnenswerte Investition!

Le nouveau four Enviro de KELLER permet de découpler le four du séchoir. De cette manière, de nouvelles portes s'ouvrent pour le chauffage du séchoir comme notamment le séchage à basse énergie, la cogénération ou le chauffage avec des combustibles alternatifs. L'alimentation en énergie du séchoir peut ainsi répondre exactement aux besoins spécifiques du client et à la demande. La suralimentation systémique du séchoir avec l'air du four et l'évacuation d'une énergie « précieuse » sont par conséquent obsolètes. Ceci est écologique, économise des ressources et réduit les coûts d'exploitation, en bref, un investissement qui en vaut la peine !



## KELLER

---

**Gegründet/Fondée en :** 1894

**Exzellenzbereich:** Maschinen und Anlagen mit Schwerpunkt auf der grobkeramischen Industrie, Automatisierungstechnik, Messtechnik (MSR), Kunststoffschälmaschinen für PTFE und PE

**Domaine d'excellence :** machines et installations en particulier pour l'industrie de la terre cuite, technique d'automatisation, technique de mesure et dérouleuses pour les matières plastiques PE et PTFE

**KELLER HCW GmbH**

Carl-Keller-Str. 2-10, 49479 Ibbenbüren-Laggenbeck  
Phone +49 5451 850, E-Mail: [info@keller.de](mailto:info@keller.de)  
[www.keller.de](http://www.keller.de)

