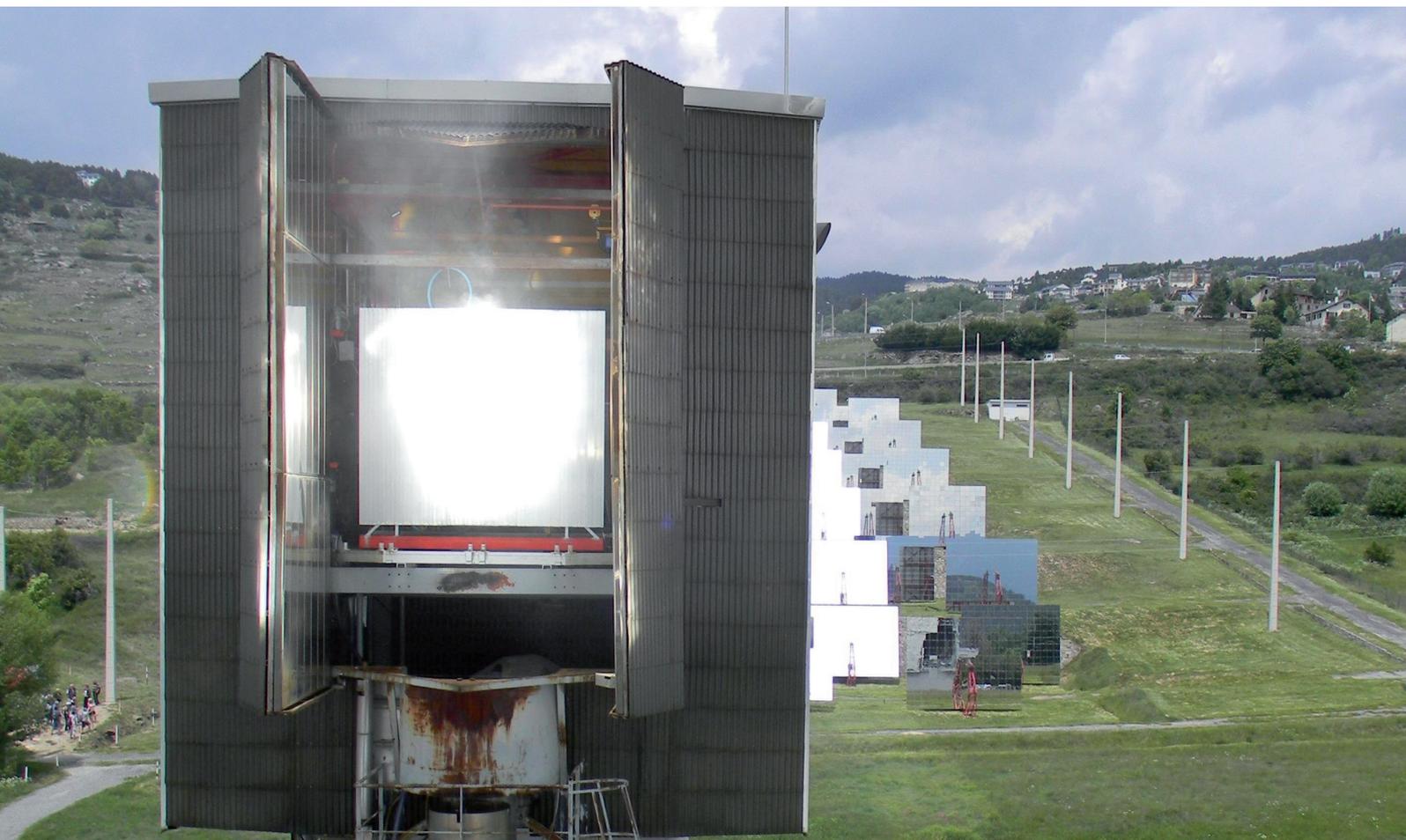


Rapport de synthèse 2011

Programme de recherche Solaire industriel à haute température



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Page de couverture :

Projet du PSI: Solar Production of Zinc and Hydrogen – 100 kW Solar Pilot Reactor for ZnO Dissociation

Première campagne de mesures en juin–juillet 2011 au Four Solaire de 1 MW (MWSF) d'Odeillo en France menée sur le réacteur pilote de 100 kW pour la dissociation thermique solaire du ZnO (porte de la tour du MWSF partiellement ouverte montrant l'impact du rayonnement sur l'écran de protection).

Programme de recherche OFEN Solaire industriel à haute température

Rapport de synthèse 2011

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

Chef de programme (auteur) :

Pierre Renaud, Planair SA (pierre.renaud@planair.ch)

Chef de domaine de l'OFEN :

Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

<http://www.bfe.admin.ch/forschungindustriesolar>

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Introduction

Une des ressources les plus abondantes sur la surface terrestre est la lumière du soleil. Des calculs montrent que, en couvrant seulement 0,1 % de la surface terrestre avec des collecteurs solaires d'un rendement de 20 %, on pourrait produire plus que l'énergie nécessaire à couvrir les besoins annuels actuels.

Parmi les systèmes de transformation du rayonnement solaire en énergie (thermique, électrique ou carburants), le solaire industriel à haute température a un rôle très important à jouer. Ses trois principales filières sont la thermochimie solaire, le solaire thermique dans les processus industriels et les centrales solaires thermiques pour la production d'électricité (CSP). Les avantages du solaire industriel à haute température se résument principalement dans la possibilité de stockage et transport de l'énergie solaire (atout majeur pour répondre aux pics de consommation et assurer une production en continu jour et nuit), la possibilité d'hybridation (p.ex. avec le gaz naturel) ainsi que la possibilité de créer des centrales multi-usages: électricité, chaleur haute et basse température (ex. d'applications: froid solaire ou désalinisation d'eau de mer). Par contre, les obstacles encore à franchir sont d'ordre scientifique et technique (p.ex. dans le domaine de la thermochimie solaire) ainsi qu'économiques (coûts légèrement trop élevés et rentabilité à améliorer pour le solaire thermique dans l'industrie et les CSP, difficulté à trouver les financements et à les mettre en relation avec les bons projets pour les CSP).

Les priorités des recherches en cours au niveau mondial dans le domaine de la thermochimie solaire sont mises

sur la production de carburant (hydrogène et gaz de synthèse) et de produits chimiques (Task II « Solar Chemistry Research » de l'Implementing Agreement « SolarPACES » de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) [1]). La technologie des processus solaires thermochimiques ouvre des perspectives prometteuses à long terme pour la fourniture de services énergétiques propres, efficaces et durables.

Contrairement à la chaleur solaire pour le chauffage de l'eau ou des bâtiments, l'utilisation de la chaleur solaire pour des processus industriels n'est pas encore très développée. En effet, moins de 100 systèmes en service sont recensés dans le monde, avec une capacité totale d'environ 24 MW_{th} (34'000 m²). La plupart de ces systèmes sont de nature expérimentale et d'une taille relativement petite. Cependant, il y a un grand potentiel pour le développement du marché et des technologies vu que, p. ex. 28 % de la demande d'énergie globale dans les pays EU27 provient du secteur industriel et que la majorité de cette chaleur concerne des températures inférieures à 250 °C. Les principales activités en cours au niveau mondial dans ce domaine touchent le développement et les essais sur les collecteurs, l'intégration et l'amélioration des processus en combinaison avec la chaleur solaire ainsi que l'établissement de règles de construction, l'analyse de cas d'étude et la dissémination (Solar Heating and Cooling Programme (SHC) de l'AIE, Task 49 « Solar Process Heat for Production and Advanced Applications » [2]).

Concernant le CSP (cf. aussi [3]), la feuille de route de l'AIE prévoit plus de 1'000 GW installés et une production

de 4'050 TWh/an d'électricité solaire thermique dans le monde en 2050, presque autant que la production prévue pour le photovoltaïque, soit environ 11 % de la production d'électricité mondiale. Néanmoins, une analyse publiée par la société d'études de marche Pike Research à fin 2011 sur le développement du solaire thermique dans le monde, montre que la capacité installée devrait passer de 1,7 GW fin 2012 à 35 GW en 2020. Un résultat bien en dessous des 148 GW prévus par la feuille de route de l'AIE. Ceci est dû notamment à la concurrence du photovoltaïque dont les coûts de production sont aujourd'hui plus faibles. Pour que le solaire thermodynamique puisse à terme concurrencer le photovoltaïque, il faudra intensifier les efforts de R&D visant une baisse des coûts de production ainsi que miser sur l'hybridation et le stockage à grande échelle. D'après une étude de l'Association européenne de l'électricité solaire thermique (Estela), l'amélioration des technologies et les économies d'échelle résultant de la création de plus grandes centrales pourraient conduire à des coûts de production de l'électricité solaire thermique à 12 c€/kWh (45 à 60 % inférieurs aux coûts actuels). L'Espagne, avec 952 MW installés grâce à 23 centrales et 1'252 MW en construction, est assurément leader de la filière, devant les Etats-Unis. En outre les deux grands projets « Plan solaire méditerranéen » et « Desertec » visent la production d'électricité dans les pays à fort gisement solaire, pour l'exporter en partie vers l'Europe.

Classification de l'AIE : 3.1.3 Solar thermal power and high-temp. applications

Classification Suisse: 2.1.3 Ind. Solarenergienutzung

Centres de gravité du programme

Le programme est structuré en trois axes principaux : la thermochimie solaire, la chaleur solaire dans les processus industriels et les CSP (concentrated solar power). Ces applications concernent des températures allant de 90 °C pour certains processus industriels jusqu'à 2'000 °C pour la thermochimie.

La recherche dans le domaine de la thermochimie est principalement axée sur la production de zinc par cycle thermochimique ZnO/Zn et est mené par le Paul Scherrer Institut (PSI).

Concernant la chaleur solaire pour des processus industriels, les points clés de la recherche sont l'engineering et l'implémentation. L'événement majeur en 2011 a été le lancement des activités du nouveau Centre de compétence CST (Concentrating Solar Thermal Energy) au SPF. En outre, la Suisse, par le SPF (HES Rapperswil), est le pays leader de la Subtask A « Process heat collector development and process heat collector testing » (Task 49 du programme SHC de l'AIE).

Dans le domaine du CSP, la recherche est principalement axée sur la modélisation, la simulation et les mesures de différents prototypes d'absorbeurs à air afin d'en optimiser l'échange de chaleur et d'en réduire les pertes de pression. De plus, un système de stockage de l'énergie thermique est en développement.

Revue et évaluation 2011

Concernant la thermochimie solaire, une installation pilote de 100 kW pour la dissociation thermique solaire du ZnO a été conçue et fabriquée au PSI. Une première campagne de mesures a été conduite en juillet 2011 au Four

Solaire de 1 MW (MWSF) d'Odeillo en France. Son objectif était de tester globalement le réacteur ainsi que d'optimiser la performance en mettant en œuvre une unité de séparation des gaz par trempage modifiée et en opérant à des températures plus élevées utilisant des matériaux résistants pour les parois du réacteur.

Une contribution importante à l'acquisition d'expérience et la collecte de données dans le domaine de la chaleur solaire pour les processus industriels est garantie par les cinq projets pilote et démonstration actuels. De manière générale, les résultats sont satisfaisants. Les premiers résultats du monitoring des trois installations en service à fin 2011 ont déjà mis en évidence quelques adaptations à apporter: nécessité de dissiper le surplus de chaleur en période de fort ensoleillement, optimisation de la simulation sur les résultats futurs (production annuelle de chaleur inférieure aux prévisions due à des simulations inadaptées) et planification des mises en service (retardée à cause du long délai de livraison des collecteurs).

Au niveau des CSP, les principaux résultats sont la poursuite du développement d'un absorbeur à air et l'amélioration de la modélisation et la réalisation d'un nouveau prototype du système de stockage de la chaleur en lit de galets. L'événement majeur de l'année est la signature par Airlight d'un accord pour la construction d'une première installation industrielle pilote au Maroc. Le champ solaire sera intégré dans un système de récupération de chaleur existant d'une cimenterie avec la production additionnelle d'électricité pour une puissance de 150 kW en continu.

Perspectives

Dans le domaine de la thermochimie solaire, la phase actuelle du projet va être prolongée d'une année jusqu'à février 2013. En raison de la complexité de la réparation de la cavité du réacteur, la deuxième campagne expérimentale au Four Solaire de 1 MW (MWSF) a été reportée à juillet 2012. L'objectif global sera d'atteindre un rendement de production de Zn excédant 50 % et un rendement de conversion « énergie solaire-produit chimique » proche de 10 %.

Au niveau de la chaleur solaire dans l'industrie, outre l'intégration de deux nouvelles installations P&D dans des processus agroalimentaires et la suite du monitoring des trois installations déjà en service, un élément important pour 2012 sera représenté par les activités du Centre de compétence CST (Concentrating Solar Thermal Energy) au SPF.

La recherche sur les CSP se concentrera en 2012 sur la conception et l'analyse de nouvelles configurations pour l'absorbeur afin d'en améliorer les performances à des températures élevées ainsi que sur l'analyse du nouveau prototype de système de stockage de la chaleur en lit de galets avec simulations et mesures.

Une réflexion sera également initiée pour la mise en place d'une installation pilote à concentration permettant le test de matériaux, la formation d'ingénieurs et le développement de certaines technologies.

Highlights Recherche et Développement

Les trois projets phares de recherche dans le cadre du programme concernent la production solaire de zinc par cycle thermochimique ZnO/Zn du PSI [4], le nouveau Centre de compétence CST au SPF [5] ainsi que le développement d'un système novateur CSP avec stockage de l'énergie thermique d'Air-light Energy [6]. Compte tenu de leur caractère plus appliqué, les deux derniers projets susmentionnés sont présentés plus en détail ci-après. Le projet du PSI sera présenté dans le rapport de synthèse 2012.

Centre de compétence CST

L'Institut de technique solaire de la HES de Rapperswil (SPF) est le centre de compétence suisse pour le solaire thermique à basse température et est reconnu au niveau international dans ce domaine. L'objectif global du présent projet est d'élargir les compétences du SPF aux domaines des collecteurs à concentration et de l'intégration de la chaleur solaire dans les processus industriels. En particulier, le SPF vise à occuper un rôle central au niveau international dans le domaine des « Concentrating Solar Thermal Energy » (CST). Pour ce faire, les activités suivantes spécifiques aux différents domaines des CST doivent être basées sur le savoir-faire actuel du SPF:

- Adaptation de la spectroscopie pour la caractérisation des tubes absorbeurs et des miroirs ainsi que mesure de vieillissement des couches des absorbeurs dans le domaine « Composants »;
- Mesures des performances de collecteurs pour la chaleur dans les processus industriels (notamment à concentration) dans le domaine « Collecteurs »;
- Relevés techniques des mesures et analyse de systèmes solaires thermiques dans les processus industriels en service dans le domaine « Systèmes ».

Dans le domaine « Composants », le spectromètre a été adapté et les premières mesures sur les absorbeurs cylindriques effectuées. Ces dernières montrent par contre que des travaux d'adaptation supplémentaires sont né-



Figure 1 : Installation de mesure par laser pour la vérification de la qualité de la géométrie de l'élément réflecteur.

cessaires. Notamment lors de la spectroscopie proche infrarouge (NIR), les bruits de mesure et les différences avec les mesures sur des échantillons plats sont nettement trop importants. La préparation des mesures de vieillissement des couches des absorbeurs est réalisée en collaboration avec Energie Solaire SA.

Au niveau du domaine « Collecteurs », les tests ont été réalisés sur des collecteurs paraboliques linéaires commercialisés d'une surface de 4,8 m². De juin à novembre 2011, les mesures du rendement des collecteurs à des températures jusqu'à 120 °C ont été effectuées. Pour la détermination du rendement en fonction de l'angle d'incidence, des mesures supplémentaires et des simulations (OptiCAD) doivent encore être effectuées en 2012. Afin de pouvoir caractériser thermiquement le rendement des collecteurs, une première série de mesures du refroidissement de l'absorbeur sans irradiation à des températures jusqu'à 100 °C a été menée. Ces tests préliminaires serviront à la mise en place des mesures à haute température en 2012. Le montage de plusieurs pyranomètres a permis de mesurer le rayonnement direct ainsi que les rayonnements global et diffus. La fiabilité de ces mesures sera vérifiée sur la durée pendant l'année 2012. En outre, une procédure pour la vérification de la qualité de la géomé-

trie de l'élément réflecteur a été mise en place et testée lors d'un travail de master au SPF (cf. Figure 1).

Afin de pouvoir définir les exigences à respecter par les collecteurs CST dans le cadre de la production de chaleur pour les processus industriels, il est important d'effectuer des mesures sur des installations complètes en service. A ce propos, les activités de la partie du projet « Systèmes » sont déjà bien avancées. En effet, plusieurs installations présentant des types de collecteurs, des niveaux de température et des processus différents ont déjà été identifiés (projets P&D cofinancés par l'OFEN). Pour certaines installations pas encore en service, le concept de monitoring a pu être défini de manière très détaillée avec les porteurs des projets. Pour toutes les installations, les tâches suivantes seront réalisées: collecte des valeurs, analyse et interprétation des données ainsi que représentation des résultats. L'utilisation de toutes les données de monitoring disponibles ainsi que des expériences de l'exploitation des installations P&D permettront d'identifier et corriger des erreurs ainsi que d'atteindre des développements supplémentaires au niveau du rendement et l'amélioration concrète des installations.



Figure 2 : Troisième prototype de concentrateur Airlight construit à Biasca TI.

Projet d'Airlight Energy SA: Receiver and Storage

Depuis fin 2007, l'OFEN cofinance le projet d'Airlight Energy visant le développement d'un collecteur solaire thermique parabolique linéaire novateur pour la production d'électricité qui soit efficace et rentable (cf. Figure 2). Le caractère novateur de la technologie Airlight est basé sur l'utilisation d'un miroir flexible pneumatique combiné



Figure 3 : Dernier prototype d'absorbeur développé en 2011 et monté sur une installation de mesure consistant en deux sous-systèmes: le premier est composé par le concentrateur principal et le système de suivi du soleil tandis que le deuxième est composé par le concentrateur secondaire et le tube pour l'air de processus.

avec un cadre en béton, un absorbeur qui ajoute un deuxième axe de concentration et qui utilise l'air comme fluide caloporteur combiné avec un système de stockage de la chaleur basé sur le réchauffement de rochers concassés (galets). La construction d'une première installation industrielle de taille réduite basée sur le troisième prototype de concentrateur Airlight devrait démarrer en 2012.

Les activités de recherche et développement (R&D) se sont poursuivies de manière intense durant l'année 2011 notamment au niveau du développement de l'absorbeur et du système de stockage de l'énergie. La phase actuelle du projet se terminera en 2012 mais des nouveaux axes de recherche sont déjà identifiés pour la poursuite des travaux.

Au niveau de l'absorbeur, cinq modèles ont été conçus et leurs performances ont été évaluées depuis le début du projet. Le dernier prototype développé en 2011 a été monté sur une installation de mesure (cf. Figure 3). Cette dernière consiste en deux sous-systèmes: le premier est composé du concentrateur principal et du système de suivi du soleil tandis que le deuxième est composé du concentrateur secondaire et de l'absorbeur. Le système a été modélisé et des simulations ainsi que des mesures ont été effectuées. Le comportement de l'absorbeur a été évalué grâce à la mesure des températures de l'air de processus ainsi qu'à différents

endroits du système, toujours en fonction de la puissance solaire incidente. Les simulations prédisent un bon comportement du système en termes de rendement de l'absorbeur avec une valeur moyenne attendue d'environ 0,65 (performance théorique). Les mesures effectuées à Biasca ont confirmé l'importance et l'efficacité de la concentration secondaire et ont montré un bon comportement en terme de températures atteintes dans le tube pour l'air de processus. Par contre, afin de pouvoir exploiter au maximum le potentiel du modèle d'absorbeur, une nouvelle conception de l'isolation thermique du tube est nécessaire. A ce propos, différentes solutions basées sur des boucliers thermiques multiples ont été investiguées. Les études ont montré que la réduction de l'émissivité radiative des boucliers (p. ex. par des surfaces plus réfléchissantes) améliore sensiblement leur efficacité isolante mais, de l'autre côté, le vieillissement des matériaux pourrait le détériorer de manière significative. En outre, pour éviter le transfert de chaleur par conduction, le contact entre boucliers doit être minimisé. Il a également été constaté que le vide à l'intérieur de l'absorbeur n'est pas nécessaire.

Les travaux futurs sur l'absorbeur concernent la poursuite de l'optimisation du système d'isolation thermique à multicouches ainsi que des tests sur une installation pilote.

Concernant le prototype du système de stockage de l'énergie thermique construit et testé à Biasca, des progrès considérables dans la modélisation de son comportement ont été obtenus et un nouveau prototype a été conçu et construit. La validation du modèle grâce aux données expérimentales a permis de définir la conductivité thermique effective du matériel rocheux utilisé pour le stockage de la chaleur et, par conséquent, de décrire le transfert de chaleur à travers un matériel poreux. La distribution de la porosité dans le lit de rochers ainsi que sa variation a également été définie. En outre, les propriétés thermiques de différents types de rochers et de bétons ont été évaluées. A propos du nouveau prototype de système de stockage, les différences principales avec l'ancien se focalisent sur l'amélioration de l'isolation thermique avec la pose de divers

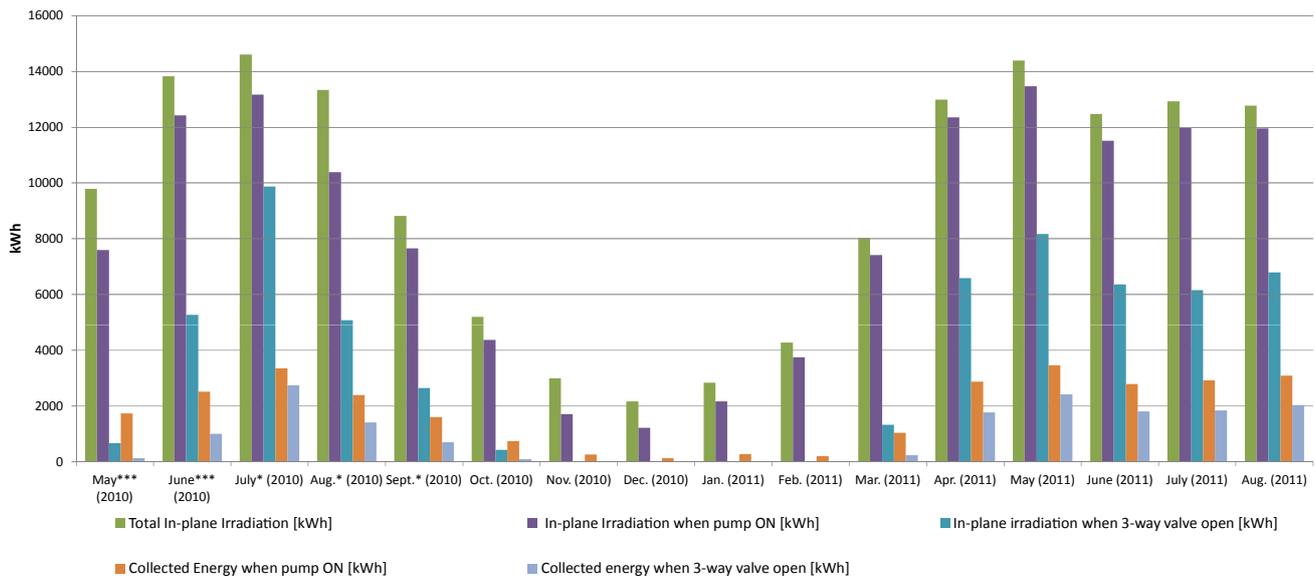


Figure 4 : Projet de production de chaleur solaire pour le chauffage de bitume chez Colas SA: irradiation solaire totale, l'irradiation et l'énergie collectée quand l'huile circule à travers les collecteurs, l'irradiation et l'énergie collectée/stockée dans les cuves de bitume quand la vanne vers la cuve est ouverte.

matériaux outre le béton isolant (microtherm et FoamGlas), la pose d'un grand nombre de sondes afin d'en monitorer le comportement avec plus de précision ainsi que la mise en place

d'un cadre extérieur en béton armé plus résistant afin de permettre des tests en surpression jusqu'à 10 bar. Le système a été modélisé et des simulations ont été effectuées. Les travaux

futurs se concentreront sur l'analyse du nouveau prototype avec des simulations et des campagnes de mesures afin d'en évaluer les performances.

Projets Pilotes et de Démonstration

Comme pour l'année 2010, la totalité des projets P&D cofinancés par l'OFEN dans le domaine de la chaleur solaire pour les processus industriels sont mis en valeur en tant que projets phares (cf. section suivante). En effet, les trois installations déjà en service ainsi que les deux en phase de conception présentent des tailles, des types de collecteurs, des niveaux de température et des processus industriels différents. Cette situation permettra de collecter des données et des retours d'expériences variés qui seront utiles pour les installations futures.

Production de chaleur solaire pour les processus industriels

La première installation P&D en Suisse cofinancée par l'OFEN pour la production de chaleur solaire pour un proces-

sus industriel a été mise en service à fin mars 2010 à Root LU (cf. rapport de synthèse 2010). Sur le toit de la fabrique de bougies Fischer AG ont été installés 81 m² de collecteurs à tubes sous vide et le niveau de température pour le réchauffement de la paraffine est compris entre 65 et 110 °C. La phase initiale de fonctionnement a mis en évidence un problème inattendu lié à l'impossibilité d'utiliser toute la chaleur produite par les collecteurs notamment pendant les périodes de fort ensoleillement. Pour pallier à cet inconvénient, des mesures ont été prises à savoir, l'augmentation de la vitesse de circulation du fluide caloporteur du circuit secondaire, l'intégration du système de production de chaleur des bâtiments dans le circuit solaire ainsi que la mise en place d'un ventilateur pour la dissipation de la chaleur dans l'environnement qui permet un fonctionnement automatique de l'installation solaire. Cette dernière solu-

tion, bien que non optimale, a dû être mise en place vu qu'aucune possibilité de récupérer la chaleur excédentaire n'existe sur le site. Depuis la mise en service jusqu'à fin novembre 2011, environ 50'000 kWh de chaleur ont été produits par l'installation solaire, dont environ 30'000 ont été utilisés pour chauffer la paraffine. Des résultats pertinents du monitoring seront disponibles seulement après une année complète de fonctionnement à plein régime. Des mesures visant une intensification ultérieure de l'utilisation de l'installation solaire, dont notamment le nettoyage de l'échangeur de chaleur dans les tanks à paraffine, vont être mises en place en 2012.

Début mai 2010, l'installation P&D de Colas Suisse pour le chauffage à 160 °C de bitume par des panneaux solaires à ultra vide de SRB Energy a été mise en service à Vernier GE (cf. rapport de synthèse 2010 et [7]). Les 78 m² de



Figure 5 : Vue de l'installation avec collecteurs paraboliques linéaires de Bever GR.

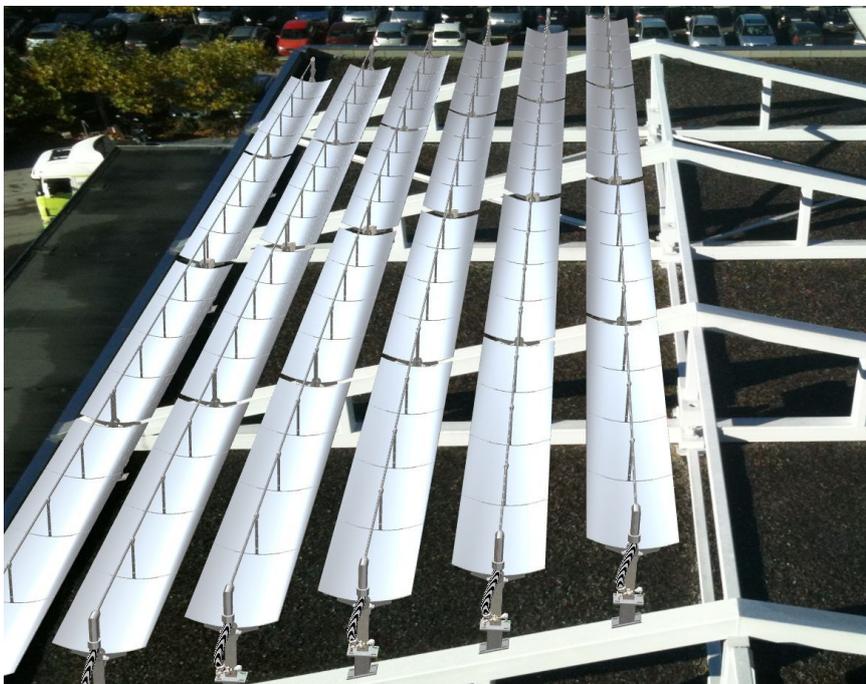


Figure 6 : Exemple de possible configuration de l'installation des collecteurs paraboliques linéaires chez Cremo.

collecteurs installés ont permis de produire environ 12'500 kWh de chaleur solaire entre août 2010 et août 2011. Au niveau du monitoring du système, les éléments suivants ont été mesurés: l'irradiation solaire, l'énergie captée par les panneaux et l'énergie stockée dans les cuves de bitume. Au cours du processus des pertes d'énergie ont été mises en évidence (voir figure 4). En hiver, l'énergie n'est pas suffisante pour être accumulée, mais l'efficacité du système durant le reste de l'année permet de rattraper ce manque. Les estimations préliminaires de produc-

tion de chaleur solaire étaient basées sur un premier design de panneaux solaires qui n'a pas été conservé par la suite pour des raisons économiques de mise en oeuvre. Les paramètres suivants ont notamment été modifiés: l'orientation (45° Ouest au lieu de plein Sud), l'inclinaison (5° au lieu de 34°), une augmentation de la température de consigne (température de 185 °C au lieu de 150 °C) et des tuyaux plus longs avec un diamètre supérieur. A fin 2011, l'installation fonctionne correctement et les objectifs pour 2012 sont, sur le site de Colas Genève, d'améliorer

le process et d'augmenter la surface du champ solaire (x3) ainsi que d'étendre le projet à d'autres sites en Suisse.

La troisième installation P&D a été mise en service à Bever GR (cf. figure 5) en octobre 2011 pour une première phase de test et en mode automatique dès fin 2011 après avoir résolu plusieurs petits problèmes au niveau du réglage, des senseurs et des liaisons hydrauliques. Le retard pris dans la mise en service est notamment dû aux longs délais de production et fourniture des collecteurs. Une partie de la production de vapeur pour la laiterie sera faite avec la chaleur solaire produite par les 115 m² de concentrateurs paraboliques linéaires de NEP Solar (cf. rapport de synthèse 2010). En 2012, l'installation fonctionnera pendant la première année à plein régime ce qui permettra de vérifier si elle répond aux attentes concernant les données d'exploitation.

Fin 2011, deux nouveaux projets P&D ont reçu un cofinancement de l'OFEN et leur mise en service est prévue en 2012. Le premier prévoit l'installation d'environ 500 m² de concentrateurs paraboliques linéaires de NEP Solar chez Cremo SA à Villars-sur-Glâne FR (cf. Figure 6). La surface de collecteurs importante et l'application dans une industrie agroalimentaire leader en Suisse en fait un projet de démonstration avec un potentiel de reproductibilité et de dissémination important. Ce projet vise entre autres à démontrer que, même dans une région pas particulièrement ensoleillée, le retour sur l'investissement est raisonnable compte tenu notamment des économies de gaz obtenues d'env. 175'000 kWh/an. Le deuxième projet prévoit l'installation d'environ 630 m² de concentrateurs paraboliques linéaires de NEP Solar sur la Fromagerie de Saignelégier JU. Les éléments qui en font un projet novateur et complémentaire par rapport aux autres décrits ci-dessus sont les suivants: la technologie de concentrateur utilisée représente une première dans un projet industriel en Suisse (nouveau type de concentrateur parabolique linéaire de NEP Solar avec 1,80 m d'ouverture au lieu de 1,20) et le projet permettra de comparer le rendement de différentes installations de type similaire situées dans le Jura, les Alpes et sur le Plateau.

Collaboration Nationale

Le symposium national du programme de recherche Solaire industriel à haute température sera organisé en 2012 afin de créer des interactions entre acteurs de la recherche, de l'industrie et du monde académique.

Dans le domaine de la thermochimie solaire, le Laboratoire de technologie solaire du PSI travaille conjointement avec le Département d'énergies renouvelables de l'ETH Zurich. En outre, dans le cadre de plusieurs projets, le PSI collabore avec les industries suivantes: Bühler AG, Uzwil; ALE Airlight Energy SA, Biasca; Alstom Power Service, Baden-Dättwil et Alstom Power Systems, Birr; Holcim, Holderbank et IBM Zurich Research Laboratory, Rüschlikon. Des collaborations et synergies sont aussi en place avec les laboratoires de recherche suisses suivants:

EMPA Dübendorf – Laboratory for Solid State Chemistry and Catalysis et ETH Zürich – Particle Technology Laboratory.

Dans le domaine de la chaleur solaire pour les processus industriels, le SPF collabore avec Energie Solaire SA (Sierre), avec NEP Solar (Zurich) ainsi qu'avec les industries porteuses des projets P&D. Dans le cadre des projets P&D, les collaborations avec les sociétés suivantes ont été mises en place: BE Netz (Lucerne), SRB Energy (CERN Genève) et NEP Solar.

Airlight Energy collabore avec l'Université professionnelle de la Suisse italienne (SUPSI-DTI-ICIMSI) ainsi que l'Institut des technologies énergétiques de l'ETH Zurich.

Collaboration Internationale

Pour la thermochimie solaire, la coopération internationale fonctionne dans le cadre de

- AIE SolarPACES Implementing Agreement (Task II – Solar Chemistry Research).
- AIE Hydrogen Implementing Agreement (Task 25 – High Temperature Hydrogen Production Processes).
- Strategic Alliance between PSI and CIEMAT (Spain) – Roadmap to Solar Hydrogen Production.
- IPHE: International Partnership for the Hydrogen Economy (Project: Solar driven high temperature thermochemical production of hydrogen).
- SOLLAB: Alliance of European Laboratories on solar thermal concentrating systems.
- EERA: European Energy Research Alliance. Participants.

- SFERA: Solar Facilities for the European Research Area (projet UE). SynPet (Industrial Project with PDVSA) – Solar steam-gasification of petroleum coke (petcoke).

- TCSPower (projet UE) – Thermo-chemical energy storage for concentrated solar power plants.

Dans le domaine de la chaleur solaire pour les processus industriels, le SPF est membre d'un consortium international, lequel, dans le cadre de l'appel d'offre de l'UE « ENERGY.2012.4.1-1: Research and development for medium temperature range solar collectors (100 °–250 °C) », a déposé un projet en octobre 2011 pour le développement d'un collecteur Fresnel novateur.

Au niveau des CSP, un accord pour la construction d'une première installation industrielle pilote au Maroc a été signé en septembre 2011 entre Airlight Energy et le producteur de ciment Italgem.

References

[1] www.solarpaces.org/Tasks/Task2/task_II.

[2] www.iea-shc.org/task49.

[3] www.solarpaces.org.

[4] A. Meier: *Solar Production of Zinc and Hydrogen – Reactor Optimisation for Scale-up (1) and Towards Industrial Solar Production of Zinc and Hydrogen – 100 kW Solar Pilot Reactor for ZnO Dissociation (2)*, BFE Jahresbericht 2011.

[5] S. Brunold et al.: *Etablierung eines CST Kompetenzzentrums am SPF*, BFE Jahresbericht 2011.

[6] Maurizio C. Barbato et al.: *SolAir-2 (1) Innovative solar collectors for efficient and costeffective solar thermal power generation – 2 and SolAir-Pilot (2)*, Rapport annuel OFEN 2011.

[7] Marc Maranzana et al.: *Projet pilote de maintien en chauffe d'un stockage de 80'000 litres de bitume à 160 °C par des panneaux solaires haute énergie*, Rapport final OFEN 2011.

Projets en cours et terminés dans l'année de référence

(* Classification de l'AIE)

- **SOLAIR - INNOVATIVE SOLAR COLLECTORS FOR EFFICIENT AND COST-EFFECTIVE SOLAR THERMAL POWER GENERATION** R+D 3.1.3*
- Lead: ALE Airlight Energy SA Funding: BFE
 Contact: Andrea Pedretti andrea.pedretti@airlightenergy.com Period: 2007–2012
 Abstract: The present project aims at the engineering investigation and design of a breakthrough concept of a solar collector system for efficient and cost-effective solar thermal power generation. The novel collector technology exploits a revolutionary air-inflated reflective structure for concentrating solar radiation. Since this new arrangement reduces drastically the investment costs of the collector field, the solar thermal plant promises to be highly economic competitive.
- **IEA-SOLARPACES-PROGRAMM** 0 3.1.3
- Lead: DLR Funding: BFE
 Contact: Mörsdorf M. http://www.solarpaces.org Period: 1989–2010
 Abstract: SolarPACES is an international cooperative network bringing together teams of national experts from around the world to focus on the development and marketing of concentrating solar power systems (also known as solar thermal power systems). It is one of a number of collaborative programs, called Implementing Agreements, managed under the umbrella of the International Energy Agency to help find solutions to worldwide energy problems.
- **TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – REACTOR OPTIMIZATION AND SCALE-UP** R+D 3.1.3
- Lead: PSI Funding: BFE
 Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch Period: 2007–2013
 Abstract: Die endotherme solarthermische Dissoziation von Zinkoxid in Zink und Sauerstoff wird untersucht. In diesem Projekt wird der Hochtemperatur-Solarreaktor für den zuverlässigen und effizienten Betrieb bei Temperaturen über 2000 K (100 kW Prototypreaktor) optimiert.
- **SOLAR CO₂-SPLITTING USING REDOX REACTIONS** R+D 3.1.3
- Lead: PSI Funding: SNF
 Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch Period: 2009–2011
 Abstract: The solar production of syngas from H₂O and CO₂ is examined via TWo-step thermochemical cycles based on redox reactions such as Zn/ZnO and FeO/Fe₃O₄. The first, endothermic step is the thermal dissociation of the metal oxide using concentrated solar radiation as the energy source of high-temperature process heat. The second, non-solar, exothermic step is the reaction of the metal or reduced metal oxide with a mixture of H₂O and CO₂ yielding syngas (H₂ and CO).
- **TCSPower – THERMO-CHEMICAL ENERGY STORAGE FOR CONCENTRATED SOLAR POWER PLANTS** R+D 3.1.3
- Lead: PSI Funding: EU FP7
 Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch Period: 2011–2014
 Abstract: The overall objective of the project is to realize a new, efficient, reliable, and economic thermo-chemical energy storage (TCS) system for concentrated solar power plants, which has the capability to contribute significantly to further cost reduction of regenerative electricity production. This will be achieved by applying reversible gas-solid reactions: dissociation of calcium hydroxide and application of manganese oxide redox reactions.
- **ENEXAL – SOLAR PRODUCTION OF ALUMINUM BY CARBOTHERMAL REDUCTION OF ALUMINA** R+D 3.1.3
- Lead: ETHZ Funding: EU FP7
 Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch Period: 2010–2014
 Abstract: Thermochemical equilibrium calculations indicate the possibility of significantly lowering the onset temperature of aluminum vapor formation via carbothermal reduction of Al₂O₃ by decreasing the total pressure, enabling its vacuum distillation. Further, the use of concentrated solar energy as the source of high-temperature process heat offers considerable energy savings and reduced concomitant CO₂ emissions. When the reducing agent is derived from a biomass source, the solar-driven carbothermal reduction is CO₂ neutral.
- **HITECO – HIGH-TEMPERATURE EFFICIENT COLLECTOR FOR CONCENTRATING SOLAR POWER APPLICATIONS** R+D 3.1.3
- Lead: ETHZ Funding: EU FP7
 Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch Period: 2010–2013
 Abstract: In order to accelerate the implementation of the CSP technology, the electricity cost has to be reduced by increasing the plants efficiency. The HITECO Project aims at doing so by increasing the operating temperature of the heat transfer fluid (HTF) up to 600 °C and therefore raising the overall efficiency of the process. The current state-of-the-art designs are prevented to reach such temperatures without a dramatic efficiency drop by several key components.

- **SOLAR-JET – SOLAR CHEMICAL REACTOR DEMONSTRATION AND OPTIMIZATION FOR LONG-TERM AVAILABILITY OF RENEWABLE JET FUEL** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | EU FP7 |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: The SOLAR-JET project will demonstrate on a laboratory-scale a process that combines concentrated sunlight with CO₂ and H₂O to produce kerosene by coupling a Two-step solar thermo-chemical cycle based on non-stoichiometric ceria redox reactions with the Fischer-Tropsch process.
- **SFERA – SOLAR FACILITIES FOR THE EUROPEAN RESEARCH AREA** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI | Funding: | EU FP7 |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2009–2013 |
- Abstract: This EU-funded research project aims to boost scientific collaboration among the leading European research institutions in solar concentrating systems, offering European research and industry access to the best research and test infrastructures and creating a virtual European laboratory.
- **SYNPET** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI | Funding: | others |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2003–2011 |
- Abstract: High-temperature thermochemical processes efficiently convert concentrated solar energy into storable and transportable fuels. In the long run, H₂O/CO₂-splitting thermochemical cycles based on metal oxide redox reactions are developed to produce H₂ and CO, which can be further processed to synthetic liquid fuels. In a transition period, carbonaceous feedstocks (fossil fuels, biomass, C-containing wastes) are solar-upgraded and transformed into valuable fuels via reforming, gasification and decomposition processes.
- **SOLSYN - SOLAR FUELS FOR CEMENT MANUFACTURING** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI | Funding: | KTI |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2007–2011 |
- Abstract: Holcim, PSI and ETH Zurich have brought together most competent resources to perform long-term oriented research in exploring the use of concentrated solar energy for cement manufacturing. Solar steam-gasification of carbonaceous materials makes use of concentrated solar energy to convert solid feedstocks such as coal, biomass, or carbon-containing wastes into high-quality synthesis gas (syngas) – mainly H₂ and CO. The synthetic gas could be used for substituting fossil fuels in the cement kiln.
- **ALSTOM - SOLAR-DRIVEN COMBINED CYCLES** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI | Funding: | others |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2008–2011 |
- Abstract: Project aimed at the engineering development of a novel solar receiver for heating compressed air to the entrance conditions of a gas turbine, as part of a combined cycle for power generation. A solar tower concentrating system will be used for electricity generation based on a Brayton-Rankine combined cycle.
- **AIRLIGHT – SOLAR RECEIVER DEVELOPMENT FOR CONCENTRATED SOLAR POWER (CSP) SYSTEMS** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2008–2011 |
- Abstract: Project aimed at the design, fabrication, testing, modeling & validation, and optimization of a solar receiver coupled with ALE's trough concentrator, for a Rankine-based electricity generation system.
- **AIRLIGHT – HIGH-TEMPERATURE THERMAL STORAGE SYSTEM FOR CONCENTRATING SOLAR POWER** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: The project is aimed at the design, fabrication, testing, modeling & validation, and optimization of a thermal storage system.

- **TOMOGRAPHY-BASED DETERMINATION OF EFFECTIVE HEAT/MASS TRANSPORT PROPERTIES FOR COMPLEX MULTI-PHASE MEDIA** R+D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	SNF
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2012

Abstract: Development of a computer tomography based methodology for the determination of the effective heat/mass transport properties of complex porous materials. The focus is on porous materials applied in high-temperature solar thermal and thermochemical processes for producing power and fuels. The morphological characterization and accurate determination of the effective transport properties are crucial for the optimal design and efficient operation of solar receivers and reactors.
- **BIOMASS (ALGAE) GASIFICATION USING CONCENTRATED SOLAR ENERGY** R+D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	SER
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2013

Abstract: The goal of this project is to transform microalgae into clean, CO₂-neutral chemical fuels. Concentrated solar radiation is used as the energy source of high-temperature process heat for the gasification of microalgae into a high-quality syngas (CO + H₂). Syngas can be further processed to liquid fuels for the power and transportation sector.
- **CONCENTRATED SOLAR THERMOELECTRIC CONVERSION** R+D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	others
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2013

Abstract: The goal of this project is to transform microalgae into clean, CO₂-neutral chemical fuels. Concentrated solar radiation is used as the energy source of high-temperature process heat for the gasification of microalgae into a high-quality syngas (CO + H₂). Syngas can be further processed to liquid fuels for the power and transportation sector.
- **CO₂ CAPTURE FROM ATMOSPHERIC AIR BY TEMPERATURE-VACUUM SWING ADSORPTION** R+D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	others
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2011–2013

Abstract: The CO₂ capture technology is based on a cyclic adsorption-desorption process that occurs on a novel filter material (« sorbent »). During adsorption, atmospheric CO₂ is chemically bound to the sorbent's surface. Once the sorbent is saturated with CO₂, the CO₂ is driven off the sorbent through heating the sorbent to around 60-100°C, thereby delivering high-purity gaseous CO₂. The CO₂-free sorbent can be re-used for many adsorption-desorption cycles.
- **TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN - 100 KW SOLAR PILOT REACTOR FOR ZNO DISSOCIATION** P+D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	BFE
Contact:	Anton Meier anton.meier@psi.ch	Period:	2010–2013

Abstract: In diesem Projekt wird der 100 kW Pilotreaktor am PSI konstruiert und gebaut. Der Solarreaktor sowie die Zusatzsysteme (Partikelförderer und Produktgasbehandlung) werden anschliessend gemäss Arbeitsplan im 1 MW Solarofen in Odeillo, Frankreich, getestet.
- **SOLAIR PILOT PLANT** P+D 3.1.3

Lead:	ALE Airlight Energy SA	Funding:	BFE
Contact:	Andrea Pedretti andrea.pedretti@airlightenergy.com	Period:	2010–2012

Abstract: The solar irradiation in Biasca is insufficient for a meaningful practical demonstrator. To be able to effectively test and validate the different components of the Airlight Energy CSP system, T_{Wo} new simulation prototypes are being developed: a full T_{Wo}-axis tracking collector for the validation of the novel receiver design and a new packed bed thermal energy storage with improved thermal insulation and enhanced performance measurement capability.
- **PROZESSWÄRME MIT VAKUUMRÖHRENKOLLEKTOREN FÜR DIE BEHEIZUNG DES PARAFFINS FÜR FISCHER KERZEN AG** P+D 3.1.3

Lead:	Theo Fischer AG	Funding:	BFE
Contact:	Daniel Kretz d.kretz@kerzen.ch	Period:	2009–2012

Abstract: Für die Kerzenfabrik Fischer Root (Kt. Luzern) wurde eine thermische Vakuumröhrenkollektoren Solaranlage für die Beheizung des Paraffins realisiert. Das Material muss dauernd auf einer Temperatur zwischen mindestens 65 und ca 110°C gelagert werden. Die 81 m² (Absorberfläche) Kollektoren Typ Augusta DF6 (SPF Nr. C938) werden eine Wärmeproduktion von ca. 47'000 kWh generieren.

- **CHAUFFAGE À 160°C DE 80'000 LITRES DE BITUME PAR PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES À ULTRA VIDE** P+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Colas Suisse | Funding: | BFE |
| Contact: | Marc Maranzana maranzana@colas.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Ce projet de chauffage à 160 °C de 80'000 litres de bitume par panneaux solaires thermiques à ultra vide de nouvelle conception est un projet unique. Le domaine de la production de produits bitumineux est un gros consommateur d'énergie, nos panneaux solaires sont une alternative prometteuse aux énergies fossiles. Les 78 m2 de l'installation permettront une économie d'énergie fossile de 35'000 kWh/an.
- **BEVER, LESA / SOLARE PROZESSWÄRMEERZEUGUNG** P+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | EWZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Georg Dubacher georg.dubacher@ewz.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich realisiert im Molkereibetrieb Lesa Lataria Engiadinaisa SA in Bever eine Hochtemperatur-Solaranlage. Mit dieser Anlage wird ein Teil der Dampfproduktion mit Heizöl durch eine Energieproduktion mit erneuerbarer Energie ersetzt. Es werden konzentrierende Rinnenkollektoren eingesetzt, welche gegenüber Vakuumröhrenkollektoren effizienter Hochtemperatur-Wärme erzeugen.
- **INSTALLATION SOLAIRE INDUSTRIELLE HAUTE TEMPÉRATURE CHEZ CREMO SA** P+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Crema SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Paul- Albert Nobs Panobs@crema.ch | Period: | 2011–2015 |
- Abstract: La technologie de concentrateur utilisée est connue mais sa taille et l'application dans une industrie agroalimentaire leader en Suisse en fait un projet de démonstration avec un potentiel de réplication et de dissémination importants. Ce projet vise entre autre à démontrer que, même dans une région pas particulièrement ensoleillée, le retour sur l'investissement est raisonnable compte tenu notamment des économies de gaz obtenues d'env. 175'000 kWh/an.
- **INSTALLATION SOLAIRE INDUSTRIELLE HAUTE TEMPÉRATURE CHEZ FROMAGERIE DE SAINGNÉLÉGIER SA: TÊTE DE MOÏNES À L'APPUI SOLAIRE** P+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Fromagerie de Saingnégier SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Jean-Philippe Brahier jeanphilippe.brahier@emmi.ch | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Projet industriel de surface importante (env. 600 m2). La technologie de concentrateur utilisée (nouveau type de parabole linéaire de NEP Solar) est nouvelle et n'avait jamais été utilisée dans un projet solaire industriel en Suisse. Le projet permet de comparer le rendement de différents installations de type similaires situées dans le Jura, les Alpes et sur le Plateau.
- **IEA-SHC TASK SHIP SUBTASK A LEADERSHIP** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Institut für Solartechnik SPF | Funding: | BFE |
| Contact: | Elimar Frank elimar.frank@solarenergy.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: In the Subtask A « Process heat collector development and process heat collector testing », the further development, improvement and optimisation of collectors, components and the collector loop is investigated. All types of solar thermal collectors for an operating temperature level up to 400°C are addressed. It should also prepare the bases to identify and select the most suitable collector technology for a given application.
- **CST KOMPETENZZENTRUM AM SPF** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Institut für Solartechnik SPF | Funding: | BFE |
| Contact: | Stefan Brunold stefan.brunold@solarenergy.ch | Period: | 2011–2015 |
- Abstract: Ziel dieses Projektes ist es, die Kompetenzen des SPF auf den Bereich der konzentrierenden Kollektoren und der solarthermischen Prozesswärmenutzung sowie anderer Anwendungen zu übertragen bzw. zu erweitern, um insbesondere auf dem Gebiet der « Concentrating Solar Thermal Energy » (CST) international eine zentrale Rolle einzunehmen. Aktivitäten: Ausbau der Spektroskopie, Alterungsuntersuchungen, Leistungsmessungen, Messtechnische Erfassung und Analyse.
- **SOLAR LIQUID FUEL FROM H2O AND CO2** R+D 3.1.3
- | | | | |
|----------|---------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: A Two-step solar thermochemical cycle for producing syngas from H2O and CO2 via Zn/ZnO redox reactions is considered. The second, non-solar, exothermic step is the reaction of Zn with mixtures of H2O and CO2 yielding high-quality syngas (mainly H2 and CO) and ZnO. Syngas is further processed to liquid fuels via Fischer-Tropsch or other catalytic reforming processes. This research project is aimed at optimizing and scaling-up the chemical reactor technology.

