

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 112 (2021)
Heft: 10

Artikel: Erhöht eine Pandemie den PV-Ertrag? = Le rendement PV croît-il lors d'une pandémie?
Autor: Vollenweider, Jakob / Remund, Jan / Schmutz, Michael
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-977610>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Erhöht eine Pandemie den PV-Ertrag?

Langzeitkorrelation mit Meteorologie | Die Photovoltaik entwickelt sich zu einer tragenden Säule der Stromversorgung. Es lohnt sich deshalb, die Wettereinflüsse auf den PV-Ertrag zu untersuchen, um Businesspläne zu verfeinern oder die Vernetzung mit anderen Energieträgern zu optimieren. Langjährige Betriebsdaten des Sonnenkraftwerks Mont-Soleil wurden dazu mit Meteodaten korreliert.

JAKOB VOLLENWEIDER, JAN REMUND, MICHAEL SCHMUTZ

Die vorliegende Untersuchung wurde durch die Vermutung ausgelöst, dass die überdurchschnittliche Jahresproduktion 2020 des Sonnenkraftwerks Mont-Soleil oberhalb von Saint-Imier (BE) mit dem Lockdown zusammenhängen könnte, der aufgrund der Covid-19-Pandemie im Frühjahr 2020 verhängt wurde. Besonders die stark eingeschränkte Mobilität der Schweizer Bevölkerung und die damit verbundenen geringeren Emissionen von Aerosolen wurden als möglicher Grund für eine erhöhte solare Einstrahlung genannt. Zur Überprüfung dieser Hypothese und ganz allgemein zur Erforschung der meteorologischen Einflüsse auf den PV-Ertrag wurde eine 28-jährige Zeitreihe der Betriebsdaten des Sonnenkraftwerks Mont-Soleil mit den entsprechenden Meteodaten korreliert und untersucht.

Langzeitmessungen

Als die Gesellschaft Mont-Soleil [1] ihr Sonnenkraftwerk 1992 in Betrieb nahm, war es mit einer Nennleistung von 560 kW europaweit die grösste PV-Anlage. 1993 konnte eine erste, sehr positive Bilanz gezogen werden.[2] Im Zentrum des Interesses standen dabei die Solarmodule (Siemens M55) und der von ABB für den Mont-Soleil gebaute selbstgeführte Pulsweitenmodulations-Wechselrichter. Diese beiden Baugruppen beanspruchten mehr als die Hälfte der damaligen Bau-summe von 8,4 Mio. CHF und beeinflussten damit die Wirtschaftlichkeit des Sonnenkraftwerks am meisten.

Auch das Langzeitverhalten hat sich stark auf die Wirtschaftlichkeit und die Ökobilanz des Sonnenkraftwerks ausgewirkt. Um dies zu erforschen, pflegt die Gesellschaft einen engen Kontakt mit dem Labor für PV-Sys-

teme an der Berner Fachhochschule (BFH) in Burgdorf, wo auch die Systematik für die Langzeituntersuchung entwickelt wurde.[3] Diese Datenauswertung erlaubt eine detaillierte Analyse von sporadischen Fehlfunktionen wie Fehlern des Maximum-Power-Point-Tracking beim Wechselrichter, Beschattung oder Schneebedeckung des Generators usw.

Bezüglich des Langzeitverhaltens lässt die ursprünglich gemessene jährliche Produktionsabnahme von durchschnittlich 0,06% zunächst eine sehr hohe Lebensdauer der Solarmodule (über 40 Jahre) erhoffen. Erfahrungen mit sehr alten Solarmodulen deuten aber darauf hin, dass der Degradationsprozess ab einem gewissen Anlagealter (typischerweise über 30 Jahre) in einen beschleunigten Zerfallsprozess übergeht. Eine Betriebsdauer von über 40 Jahren erscheint deshalb kaum als

realistisch. Man sollte eher von einer auf Markterhebungen basierenden mittleren Lebensdauer eines PV-Moduls von 33 Jahren ausgehen.[4]

Langzeit-Meteodaten

Die Schweiz verfügt im internationalen Vergleich über ein einzigartig dichtmaschiges Netz an Meteostationen.[5] Dazu gehört SwissMetNet, das Messnetz von MeteoSchweiz, das ca. 160 automatische Messstationen zählt. Diese Stationen liefern alle zehn Minuten viele Daten zu Wetter und Klima. Im Raum Mont-Soleil bieten sich beispielsweise die drei Stationen La Frétaz, La Chaux-de-Fonds und Chasseral an, um – zusammen mit den lokal auf dem Mont-Soleil erhobenen Meteodaten – robuste Langzeitkorrelationen mit den Betriebsdaten des Sonnenkraftwerks durchzuführen. Dabei ist es selbstverständlich zwingend, dass über die ganze Zeitreihe mit der gleichen anerkannten Methodik vorgegangen wird, wie dies auf dem Mont-Soleil mit dem umfassenden klimatologischen Grundlagenwerk zur Sonnenenergienutzung «Meteonorm» [6,7] schon immer getan wurde.

Klimatologie auf dem Mont-Soleil

Die Sonneneinstrahlung nimmt bereits seit Jahrzehnten kontinuierlich zu. Dieser Trend, der an vielen Orten in Europa zu beobachten und der auch als «Global Brightening» [8] bekannt ist, wird zu höheren PV-Erträgen führen. Als Hauptgrund gilt die Abnahme der Luftverschmutzung. Der Trend zeigt sich auch an drei nahe dem Mont-Soleil gelegenen Wetterstationen der Meteo-Schweiz (Tabelle 1).

Die Trockenheit hat in den letzten 40 Jahren deutlich zugenommen. Bild 1 zeigt den Verlauf der Tage mit einem Trockenheitsindex für den Wald ETA/ETP (aktuelle/potenzielle Verdunstung) unter 0,8 in einem Waldstück am Südhang des Mont-Soleil (Forêt du Droit). Ein Wert unter 0,8 bedeutet, dass Bäume aufgrund von Trockenheit eine eingeschränkte Verdunstung aufweisen.

Der ETA/ETP-Wert hängt von der Witterung ab: Sonniges, warmes und trockenes Wetter senkt den Wert. Tieferere Werte können wiederum die Bildung lokaler konvektiver Bewölkung verringern und zu mehr Sonnenein-

Jahreszeit	La Frétaz	La Chaux-de-Fonds	Chasseral
Winter	2,2%	2,7%	0,1%
Frühjahr	5,4%	4,5%	3,4%
Sommer	3,8%	3,7%	2,6%
Herbst	3,7%	3,6%	0,6%
Jahr	4,1%	3,8%	2,1%

Tabelle 1 Trends der Globalstrahlung im Grossraum Mont-Soleil im Zeitraum 1981-2020 in Prozent pro Dekade.

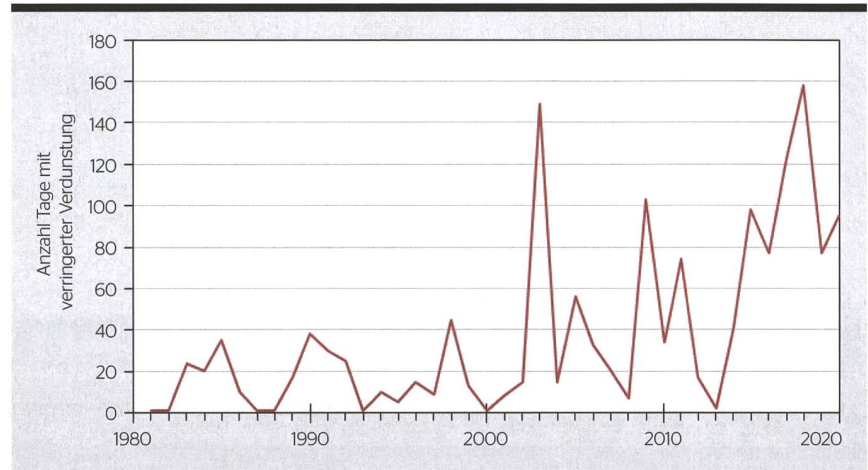


Bild 1 Verlauf der Anzahl Tage mit verringerter Verdunstung ($ETA/ETP < 0,8$) am Südhang des Mont-Soleil.

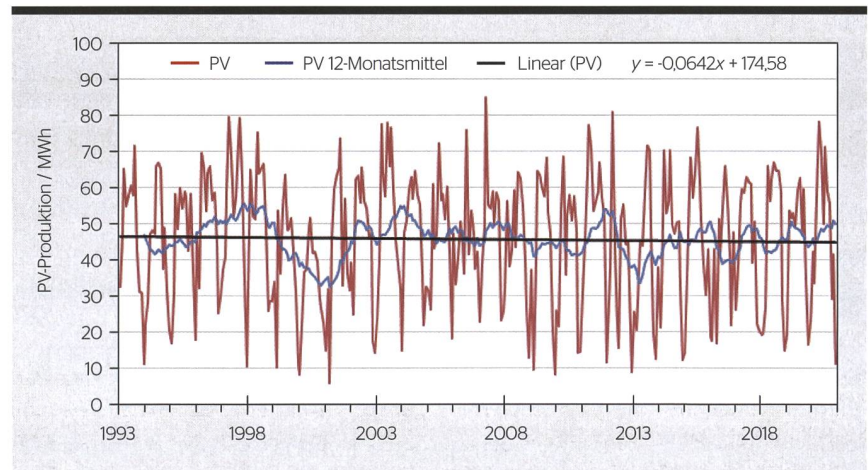


Bild 2 Verlauf der monatlichen PV-Produktion auf dem Mont-Soleil.

strahlung und Trockenheit führen. Das Phänomen ist also selbstverstärkend.

Der PV-Ertrag der Mont-Soleil-Anlage zeigt aber praktisch keinen Trend (Bild 2). Wahrscheinlich kompensieren sich die Degradation der Anlage und die Zunahme der solaren Einstrahlung teilweise. Von 2002 bis 2020, für welche auch lokale Messungen vorhanden sind, hat die Produktion um 2,17% pro Dekade abgenommen. Die Degradation betrug 4,1% pro Dekade.

Mögliche Einflüsse des Lockdowns im Frühjahr 2020

Grosswetterlagen: Im Frühjahr 2020 war die Wetterlage persistent von blockierenden Hochdrucksystemen «Omega-Lage» beeinflusst (Bild 3).

Zur langfristigen Einordnung von blockierenden Wetterlagen wird häufig der «Blocking Index» verwendet.[9] Ein langfristiger Trend dieses Index und damit der blockierenden Wetterlagen ist allerdings im Gebiet des

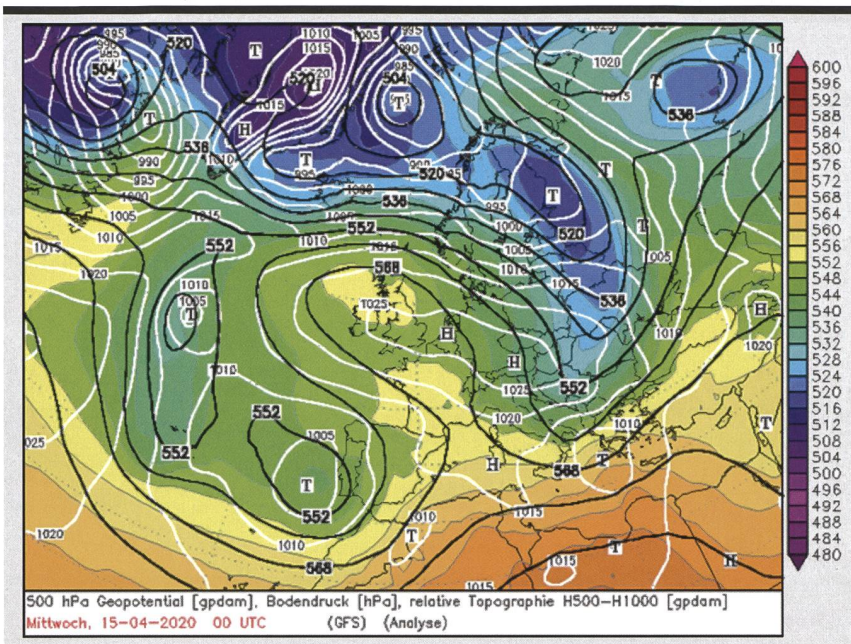


Bild 3 Omega-Lage über Mitteleuropa am 15. April 2020.

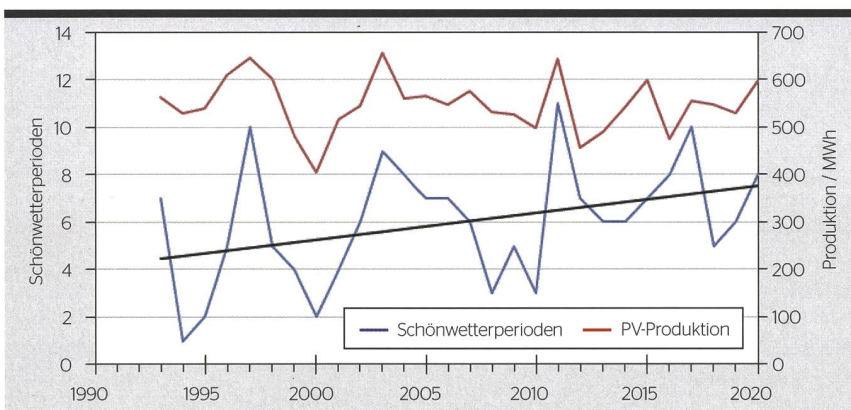


Bild 4 Langfristiger Verlauf der Anzahl Schönwetterperioden pro Jahr sowie der Jahres-PV-Produktion auf dem Mont-Soleil.

Mont-Soleil nicht ersichtlich. Es scheint sich eine leichte Zunahme von längeren Schönwetterperioden (hier mindestens 5 Tage mit Globalstrahlung/Clearsky-Strahlung $\geq 0,75$) abzuzeichnen (Bild 4), welche in einem möglichen Zusammenhang mit stabilen Wetterlagen stehen können.

Die Aerosol Optische Dichte (AOD) ist ein Mass für den Strahlungstransfer durch die Atmosphäre der Erde. Die AOD gibt an, wie viel direktes Sonnenlicht durch in der Atmosphäre vorhandene Partikel gestreut oder absorbiert wird. Insofern eignet sich die AOD als Indikator für den Einfluss von Luftverschmutzung auf die Direktstrahlung.

Satellitenbasierte Messungen der AOD [10] der letzten zwei Dekaden zei-

gen einen klar abnehmenden Trend der atmosphärischen Trübung. Verringerter Schadstoffemissionen zeigen sich vor allem in dicht besiedelten Gebieten, so dass im Gebiet Mont-Soleil die Luftverschmutzung – mit Ausnahme der Ozonbelastung – deshalb eher gering ist, was auch durch die nächstgelegene langjährige Luftreinhalte-Messstation des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (Nabel) [5] auf dem Chaumont (oberhalb von Neuenburg) bestätigt wird. Im Jahr 2020 zeigten sich keine signifikant niedrigeren Schadstoffwerte. Die via Satellit bestimmten Aerosol-Werte über dem Mont-Soleil lagen hingegen etwas tiefer als in den früheren Jahren (Bild 5). Wie stark sich die lokalen

Emissionen von Aerosolen auf die regionale AOD auswirken, hängt auch sehr stark von den vorherrschenden Witterungsbedingungen ab.

Der Flugverkehr ging während des Lockdowns – und auch danach – massiv zurück. Gemäss dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) waren zeitweise 90% weniger Kondensstreifen vorhanden.[11] Ihr Rückgang ist aber in den Messungen der Globalstrahlung auf dem Chasseral nicht zweifelsfrei erkennbar (Bild 6). Die Bildung von Kondensstreifen ist jedoch auch stark abhängig von den atmosphärischen Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit). Die Abnahme im Flugverkehr zeichnet sich somit nicht unbedingt direkt in der gemessenen Strahlung ab.

CO₂-Fluss-Messungen in Städten zeigen einen klaren Einfluss des Lockdowns auf die lokalen Emissionen.[12] Dies hat aber (fast) keinen Effekt auf den regionalen und globalen CO₂-Haushalt, widerspiegelt jedoch deutlich den Rückgang der motorisierten Mobilität während des Lockdowns. Im Gegensatz zu den Aerosolen hat die CO₂-Konzentration keinen direkten Einfluss auf die solare Einstrahlung, da die Atmosphäre trotz der Treibhausgase weitgehend transparent ist für die kurzweilige solare Einstrahlung. Der Treibhauseffekt entsteht letztlich erst dadurch, dass die Atmosphäre mit den Treibhausgasen wenig transparent ist für die langweilige Infrarotstrahlung, die von der warmen Erdoberfläche und von der erwärmten Luft emittiert wird. Zudem finden indirekte Effekte von CO₂ als Treibhausgas erst über längere klimatologische Zeiträume statt.

Fazit

Die Korrelation der Daten aus dem langjährigen Betrieb des Sonnenkraftwerks Mont-Soleil mit den entsprechenden Meteodaten ergab wertvolle Erkenntnisse.

Aus der Klimatologie der solaren Einstrahlung zeichnet sich bereits seit Jahrzehnten ein steigender Trend ab. Dieser Trend ist an vielen Orten in Europa zu beobachten und ist auch als «Global Brightening» bekannt. Als Hauptgrund gilt die Abnahme der Luftverschmutzung.

Die Trockenheit im Mont-Soleil-Gebiet nimmt stetig zu. Die verringerte Verdunstung durch die Vegetation

kann die lokale konvektive Wolkenbildung verringern und zu mehr Sonneneinstrahlung führen.

Die PV-Produktion der Anlage Mont-Soleil zeigt nur einen kleinen negativen Trend. Sehr wahrscheinlich kompensieren sich teilweise die Degradation der Anlage und die Zunahme der solaren Einstrahlung.

Die CO₂-Konzentration hat im Gegensatz zu den Aerosolen keinen direkten Einfluss auf die solare Einstrahlung, da die Atmosphäre trotz der Treibhausgase weitgehend transparent ist für die ankommende kurzweilige solare Einstrahlung.

Die anfänglich geäußerte Vermutung, dass die hohen Produktionszahlen des Sonnenkraftwerks Mont-Soleil im Jahr 2020 möglicherweise mit dem im Frühjahr verhängten Lockdown zusammenhängen, konnte mit unserer Analyse nicht bestätigt werden.

Ausblick auf Swiss Energypark

Die erfolgreiche Langzeitkorrelation von Betriebs- mit Meteodaten bestärkt die Gesellschaft Mont-Soleil in ihrer Schwerpunktsetzung bei der Forschungsarbeit.[13] Sie legt zudem nahe, diese Methodik in Zukunft ebenfalls auf die Wind- und Wasserkraft im Swiss Energypark [14] anzuwenden. Dieser umfasst das Gebiet zwischen Saint-Imier (BE) und Le Noirmont (JU), in welchem neue Energietechnologien in das bestehende Energiesystem eingebaut und praxisnah getestet werden. Das Gebiet, das auf einer Fläche von 282 km² knapp 20 800 Einwohner zählt, eignet sich dazu besonders gut, weil dort fluktuierende Photovoltaikanlagen und Windkraftwerke sowie konstant produzierende Wasserkraftwerke vorhanden sind.

Die Region des Swiss Energyparks verzeichnete im Jahr 2020 einen Produktionsrekord von 127 GWh regional und dezentral erzeugter erneuerbarer Elektrizität und kam damit im Jahresaldo auf eine Stromautonomie von 86%. Im Gebiet des Swiss Energyparks liegen das grösste schweizerische Windkraftwerk der Juvent SA sowie das grösste Wasserkraftwerk im Kanton Jura und Berner Jura der Société des Forces Electriques de La Goule SA, von denen, gleich wie für das Sonnenkraftwerk Mont-Soleil, robuste Langzeitdaten vorliegen. Diese können mit den entsprechenden Datenreihen von

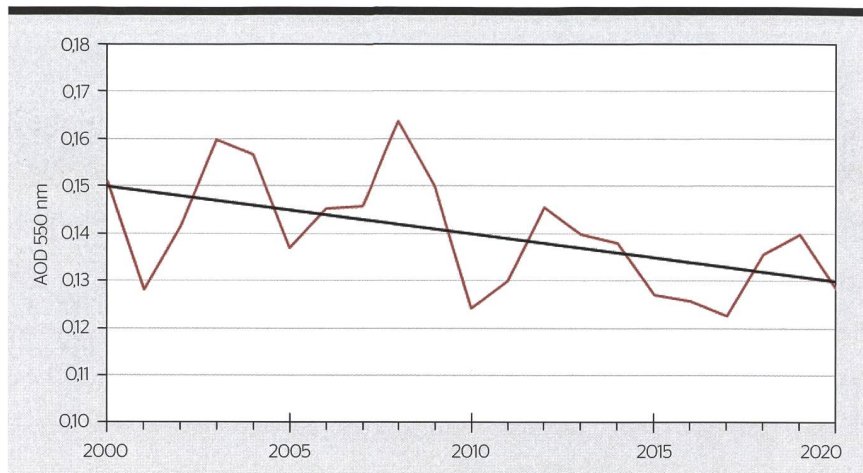


Bild 5 Jahresmittelwerte der Aerosol Optischen Dichte (AOD) der Jahre 2000 bis 2020 im Gebiet des Mont-Soleil.

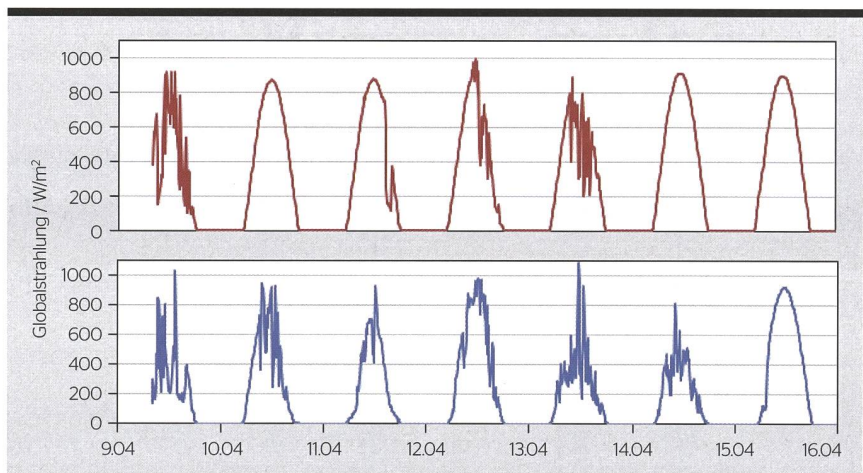


Bild 6 Verlauf der 10-Minutenwerte der Globalstrahlung auf dem Chasseral im April 2019 (blau) und 2020 (rot).

regionalen Meteostationen korreliert werden, um einerseits detaillierte Hinweise zu den meteorologischen Einflüssen auf die einzelnen Energieträger zu erhalten und andererseits, um das Zusammenspiel der einzelnen Energieträger noch effizienter organisieren zu können.

Referenzen

- [1] www.societe-mont-soleil.ch
- [2] R. Minder, «Das Solarkraftwerk Phalk Mont-Soleil: Betriebserfahrungen und erste Bilanz», Bulletin SEV/VSE 10/1993.
- [3] H. Häberlin, C. Beutler, «Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung», Bulletin SEV/VSE 4/1995.
- [4] T. Hostettler (im Auftrag des BFE und von Swissolar), «Markterhebung Sonnenenergie 2019 - Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien», Juli 2020.
- [5] www.meteoschweiz.ch
- [6] J. Remund, E. Salvisberg, S. Kunz (im Auftrag des BFE), «Meteonorm - Meteorologische Grundlagen für die Sonnenenergienutzung», 1995.
- [7] www.meteonorm.com

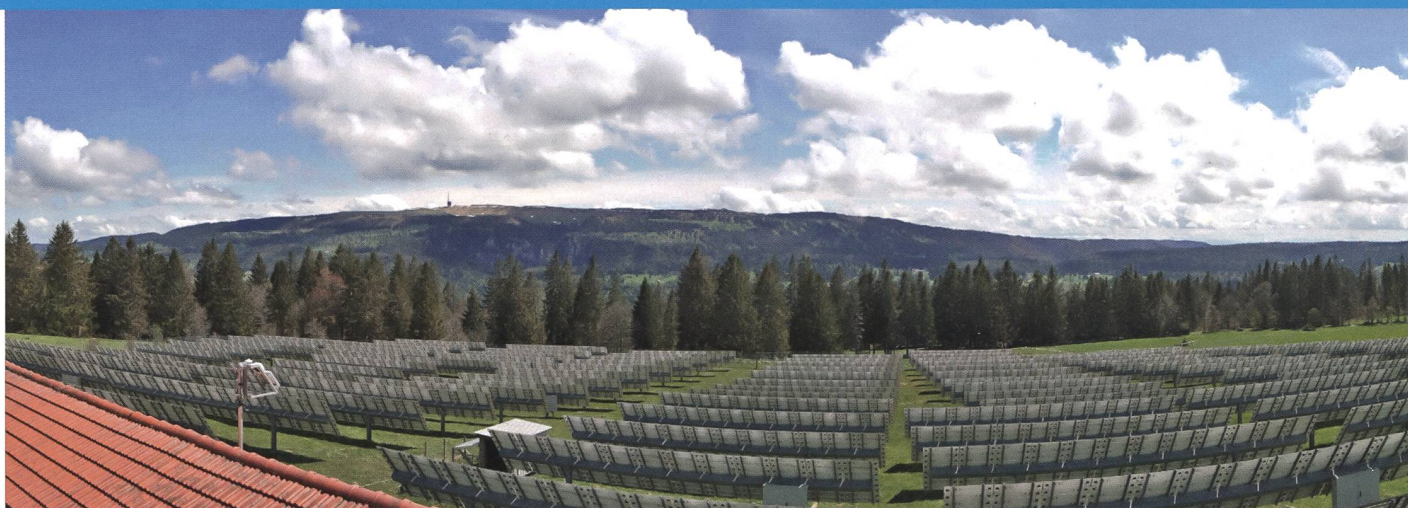
- [8] M. Wild, «Enlightening Global Dimming and Brightening», Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 93, Issue 1, Jan 2012.
- [9] S. Tibaldi, F. Molteni, «On the operational predictability of blocking», Tellus A, Volume 42, 1990.
- [10] A. Lyapustin, Y. Wang, «MCD19A2 MODIS/Terra+ Aqua Land Aerosol Optical Depth Daily L2G Global 1 km SIN Grid V006», distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2018.
- [11] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, «Bis zu 90 Prozent weniger Kondensstreifen infolge des verminderten Flugverkehrs», 20. Mai 2020.
- [12] Integrated Carbon Observation System ICOS, «ICOS study shows clear reduction in urban CO₂ emissions as a result of Covid-19 lockdown», Media release 13 May 2020.
- [13] J. Vollenweider, «PV-Forschung auf dem Mont-Soleil», Bulletin SEV/VSE 10/2019.
- [14] www.swiss-energypark.ch

Autoren

Dr. **Jakob Vollenweider** ist verantwortlich für Technologie und Entwicklung der Gesellschaft Mont-Soleil.
→ Gesellschaft Mont-Soleil, 2610 Saint-Imier
→ jakob.vollenweider@energieboutique.ch

Jan Remund ist Leiter Energie & Klima bei Meteotest AG.
→ Meteotest AG, 3012 Bern
→ jan.remund@meteotest.ch

Dr. **Michael Schmutz** ist Projektleiter Energie & Klima bei Meteotest AG.
→ michael.schmutz@meteotest.ch



Le rendement PV croît-il lors d'une pandémie?

Corrélation à long terme avec la météorologie | Le photovoltaïque devient l'un des piliers majeurs de l'approvisionnement en électricité. Cela vaut donc la peine d'étudier les influences météorologiques sur son rendement, par exemple afin d'affiner les plans d'affaires. Pour ce faire, des données d'exploitation à long terme de la centrale solaire de Mont-Soleil ont été corrélées avec des données météorologiques.

JAKOB VOLLENWEIDER, JAN REMUND, MICHAEL SCHMUTZ

La présente étude découle de l'hypothèse selon laquelle, l'année passée, la production annuelle supérieure à la moyenne de la centrale solaire de Mont-Soleil, située au-dessus de Saint-Imier (BE), pourrait être liée au confinement ordonné au printemps 2020 en raison de la pandémie de Covid-19. La forte restriction de la mobilité de la population suisse et les faibles émissions d'aérosols y associées ont notamment été mentionnées comme une raison possible du rayonnement solaire accru. Pour vérifier cette hypothèse et explorer, de manière plus générale, les influences météorologiques sur le rendement photovoltaïque, des données d'exploitation de la centrale solaire de Mont-Soleil s'étendant sur 28 ans ont été corrélées avec les données météorologiques correspondantes, puis étudiées.

Mesures sur une longue période

Lorsqu'en 1992, la Société Mont-Soleil [1] a mis en service sa centrale solaire d'une puissance nominale de 560 kW, il s'agissait de la plus grande installation photovoltaïque d'Europe.

Un premier bilan très positif a pu être dressé en 1993.[2] Les modules solaires (Siemens M55) et l'onduleur à modulation de largeur d'impulsion autocommuté, construit par ABB pour Mont-Soleil, étaient au cœur de toutes les attentions. Ces deux ensembles représentaient à l'époque plus de la moitié du coût de construction (8,4 mio. CHF) et exerçaient ainsi le plus d'influence sur la rentabilité de la centrale solaire.

Le comportement à long terme a également eu un impact majeur sur la rentabilité et l'écobilan de la centrale solaire. Afin de l'étudier, la Société Mont-Soleil entretient des contacts étroits avec le Laboratoire pour les systèmes photovoltaïques de la Haute école spécialisée bernoise (BFH) à Berrthoud, où a également été élaborée la systématique de l'étude sur une longue période.[3] Cette évaluation des données permet une analyse détaillée des dysfonctionnements sporadiques tels que les erreurs de suivi du point de puissance maximale au niveau de l'onduleur, l'ombrage ou l'enneigement du générateur, etc.

En ce qui concerne le comportement à long terme, la diminution de production annuelle de 0,06% en moyenne mesurée initialement permet d'espérer une très longue durée de vie pour les modules solaires (plus de 40 ans). Toutefois, l'expérience acquise auprès de très vieux modules solaires indique que le processus de dégradation se transforme en un processus de décomposition accélérée dès lors que le système atteint un certain âge (typiquement plus de 30 ans). Une durée d'exploitation de plus de 40 ans ne semble donc guère réaliste. Sur la base des études de marché réalisées dans ce domaine, il faut plutôt tabler sur une durée de vie moyenne de 33 ans pour un module photovoltaïque.[4]

Données météorologiques à long terme

En comparaison internationale, la Suisse possède un réseau de stations météorologiques d'une densité unique [5], dont fait partie SwissMetNet, le réseau de mesure de MétéoSuisse, qui compte quelque 160 stations de mesure automatiques. Toutes les dix minutes, ces sta-

tions fournissent un grand nombre de données météorologiques et climatiques. Dans le secteur du Mont-Soleil, les trois stations de La Frétaz, La Chaux-de-Fonds et Chasseral conviennent par exemple parfaitement pour établir de solides corrélations à long terme avec les données d'exploitation de la centrale solaire ainsi qu'avec les données météorologiques recueillies localement sur le Mont-Soleil. Bien entendu, il faut impérativement utiliser la même méthodologie reconnue sur l'ensemble de la série temporelle de données, comme cela a toujours été fait sur le Mont-Soleil dans le cadre du travail de base climatologique complet relatif à l'utilisation de l'énergie solaire «Meteonorm» [6, 7].

La climatologie sur le Mont-Soleil

Le rayonnement solaire augmente continuellement depuis des décennies. Cette tendance, également appelée «global brightening» [8], que l'on peut observer dans de nombreux endroits en Europe, entraînera une augmentation des rendements photovoltaïques. La diminution de la pollution atmosphérique en est considérée comme la raison principale. Cette tendance se manifeste également dans trois stations météorologiques de MétéoSuisse situées près du Mont-Soleil (tableau 1).

La sécheresse a considérablement augmenté au cours de ces 40 dernières années. La figure 1 montre l'évolution des jours avec un indice de sécheresse pour la forêt ETA/ETP (évapotranspiration actuelle/potentielle) inférieure à 0,8 dans une parcelle de forêt sur le versant sud du Mont-Soleil (Forêt du Droit). Une valeur inférieure à 0,8 signifie que les arbres présentent une évapotranspiration limitée en raison de la sécheresse.

La valeur ETA/ETP dépend des conditions météorologiques: un temps ensoleillé, chaud et sec la fait baisser. Des valeurs plus faibles peuvent réduire à leur tour la formation d'une couverture nuageuse convective locale et favoriser le rayonnement solaire et la sécheresse. Ce phénomène est donc autorenforcé.

Toutefois, le rendement PV de l'installation de Mont-Soleil ne montre quasiment aucune tendance (figure 2). La dégradation de l'installation et l'augmentation du rayonnement solaire se compensent probablement en partie. Pour la période de 2002 à 2020, pour laquelle des mesures locales sont égale-

Saison	La Frétaz	La Chaux-de-Fonds	Chasseral
Hiver	2,2%	2,7%	0,1%
Printemps	5,4%	4,5%	3,4%
Été	3,8%	3,7%	2,6%
Automne	3,7%	3,6%	0,6%
Année	4,1%	3,8%	2,1%

Tableau 1 Tendances à l'augmentation du rayonnement global dans la zone élargie de Mont-Soleil sur la période de 1981 à 2020 en %/décennie.

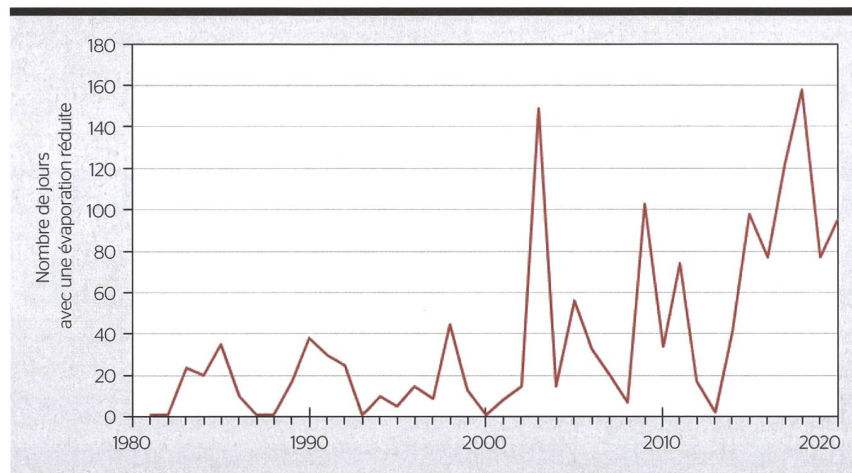


Figure 1 Évolution du nombre de jours avec une évaporation réduite (ETA/ETP < 0,8) sur le versant sud du Mont-Soleil.

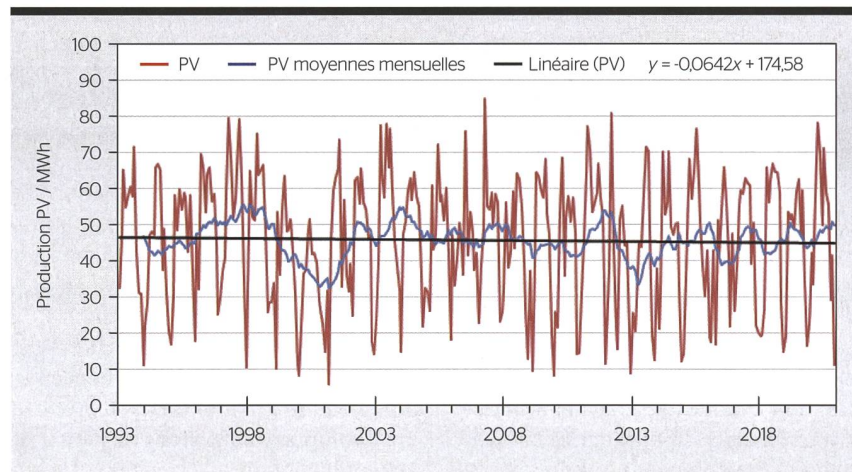


Figure 2 Évolution de la production PV mensuelle sur le Mont-Soleil.

ment disponibles, la production a diminué de 2,17% par décennie. La dégradation s'est, quant à elle, élevée à 4,1% par décennie.

Influences possibles du confinement au printemps 2020

Situations météorologiques globales: au printemps 2020, la situation météorologique a été influencée en permanence par des anticyclones de type «blocage oméga» (figure 3).

Le «blocking index» est souvent utilisé pour la classification à long terme des situations météorologiques de blocage.[9] Mais une tendance à long terme de cet indice – et donc des situations météorologiques de blocage – n'est toutefois pas évidente dans la région de Mont-Soleil. Il semble y avoir une légère augmentation des périodes prolongées de beau temps (ici, au moins 5 jours avec un rayonnement global/rayonnement Clearsky $\geq 0,75$)

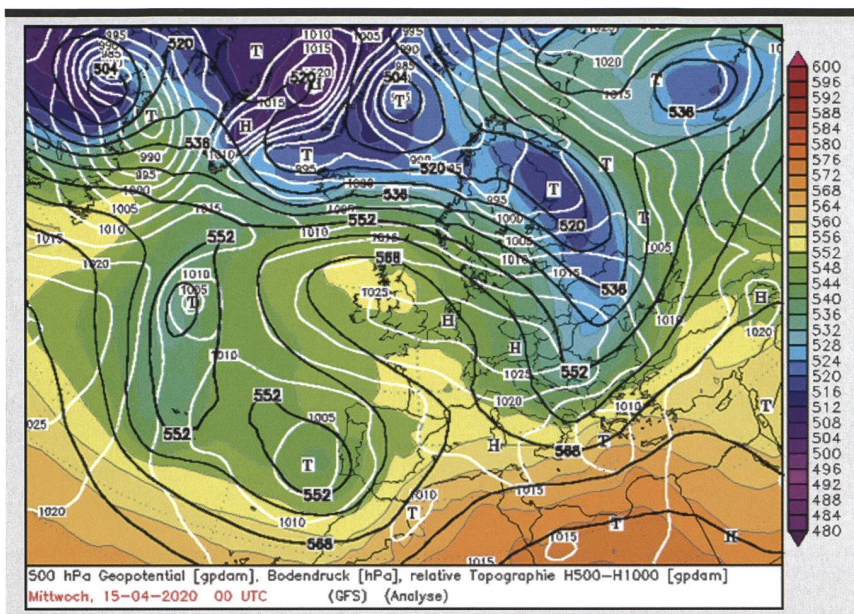


Figure 3 Situation oméga sur l'Europe centrale le 15 avril 2020.

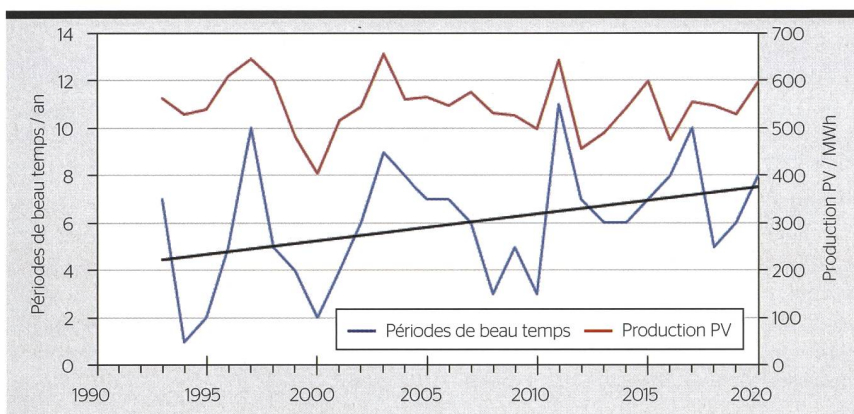


Figure 4 Évolution à long terme du nombre de périodes de beau temps par an ainsi que de la production photovoltaïque annuelle sur le Mont-Soleil.

(figure 4), lesquelles pourraient être liées à des conditions météorologiques stables.

L'épaisseur optique des aérosols (AOD) est une mesure du transfert du rayonnement à travers l'atmosphère terrestre. L'AOD précise la quantité de lumière solaire directe diffusée ou absorbée par les particules présentes dans l'atmosphère. À ce titre, l'AOD convient comme indicateur de l'influence de la pollution atmosphérique sur le rayonnement direct.

Les mesures par satellite de l'AOD [10] au cours des deux dernières décennies montrent une nette tendance à la baisse de l'opacité atmosphérique. La diminution des émissions de polluants se manifeste principalement dans les zones densément peuplées, de sorte que dans le

secteur du Mont-Soleil, la pollution atmosphérique – à l'exception de la pollution par l'ozone – s'avère plutôt faible, ce que confirme également la station de surveillance à long terme de la pollution atmosphérique du Nabel (Réseau national d'observation des polluants atmosphériques) [5] la plus proche, située à Chaumont, au-dessus de Neuchâtel. En 2020, aucune baisse significative des niveaux de polluants n'a été observée. En revanche, les valeurs d'aérosols déterminées par satellite au-dessus du Mont-Soleil étaient légèrement inférieures à celles des années précédentes (figure 5). La mesure dans laquelle les émissions locales d'aérosols influencent l'AOD régionale dépend aussi largement des conditions météorologiques dominantes.

Le trafic aérien a diminué massivement pendant le confinement – et après aussi. Selon le centre aérospatial allemand Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), les traînées de condensation ont par moment diminué de 90%. [11] Toutefois, leur diminution n'apparaît pas de façon incontestable dans les mesures du rayonnement global sur le Chasseral (figure 6). La formation des traînées de condensation dépend cependant aussi fortement des conditions atmosphériques (température, humidité). La diminution du trafic aérien ne se reflète donc pas forcément directement dans le rayonnement mesuré.

Les mesures du flux de CO₂ dans les villes montrent une nette influence du confinement sur les émissions locales. [12] Si cela n'a (presque) aucun effet sur le bilan carbone régional et mondial, cela reflète tout de même clairement la diminution de la mobilité motorisée pendant le confinement. Contrairement aux aérosols, la concentration de CO₂ n'a pas d'influence directe sur le rayonnement solaire, car l'atmosphère est, malgré les gaz à effet de serre, largement transparente au rayonnement solaire à ondes courtes. En définitive, l'effet de serre ne se crée que parce que l'atmosphère contenant les gaz à effet de serre est peu transparente au rayonnement infrarouge à ondes longues émis par la surface chaude de la Terre et par l'air chauffé. En outre, les effets indirects du CO₂ en tant que gaz à effet de serre ne se produisent que sur des périodes climatologiques plus longues.

Conclusions

La corrélation des données issues de l'exploitation à long terme de la centrale solaire Mont-Soleil avec les données météorologiques correspondantes a permis de tirer de précieuses conclusions.

La climatologie du rayonnement solaire fait apparaître une tendance à la hausse depuis déjà des décennies. Cette tendance, également appelée « global brightening », peut être observée dans de nombreux endroits en Europe. La diminution de la pollution atmosphérique est considérée comme en étant la raison principale.

La sécheresse dans le secteur du Mont-Soleil est en constante augmentation. La réduction de l'évaporation par la végétation peut réduire la formation d'une couverture nuageuse convective locale et entraîner une augmentation du rayonnement solaire.

La production photovoltaïque de l'installation de Mont-Soleil ne présente qu'une légère tendance négative. La dégradation de l'installation et l'augmentation du rayonnement solaire se compensent très probablement en partie.

Contrairement aux aérosols, la concentration de CO₂ n'a pas d'influence directe sur le rayonnement solaire, car l'atmosphère est largement transparente au rayonnement solaire entrant à ondes courtes, et ce, malgré les gaz à effet de serre.

L'hypothèse initiale selon laquelle les chiffres de production élevés de la centrale solaire de Mont-Soleil en 2020 pourraient être liés au confinement imposé au printemps n'a pas pu être confirmée par notre analyse.

Perspectives pour le Swiss Energy Park

La corrélation réussie à long terme des données d'exploitation avec les données météorologiques conforte la Société Mont-Soleil dans ses orientations en matière de recherche.[13] Elle suggère également d'appliquer à l'avenir cette méthodologie à l'énergie éolienne et hydraulique du Swiss Energy Park [14]. Celui-ci couvre le secteur situé entre Saint-Imier (BE) et Le Noirmont (JU), où de nouvelles technologies énergétiques sont intégrées au système énergétique existant et testées dans des conditions proches de la pratique. Ce secteur, qui compte près de 20 800 habitants répartis sur une superficie de 282 km², convient particulièrement bien à cette fin en raison de la présence d'installations photovoltaïques et de centrales éoliennes fluctuantes ainsi que de centrales hydro-électriques à production constante. En 2020, la région du Swiss Energy Park a enregistré un record de production de 127 GWh d'électricité renouvelable produite au niveau régional et de manière décentralisée, ce qui lui a permis d'atteindre une autonomie électrique nette annuelle de 86%. La plus grande centrale éolienne suisse, exploitée par Juvent SA, ainsi que la plus grande centrale hydro-électrique du canton du Jura et du Jura bernois, exploitée par la Société des forces électriques de La Goule SA, sont situées dans le secteur du Swiss Energy Park, et des données solides à long terme sont disponibles pour ces centrales comme pour la centrale solaire de Mont-Soleil. Celles-ci peuvent être mises en corrélation avec les séries de données correspondantes des

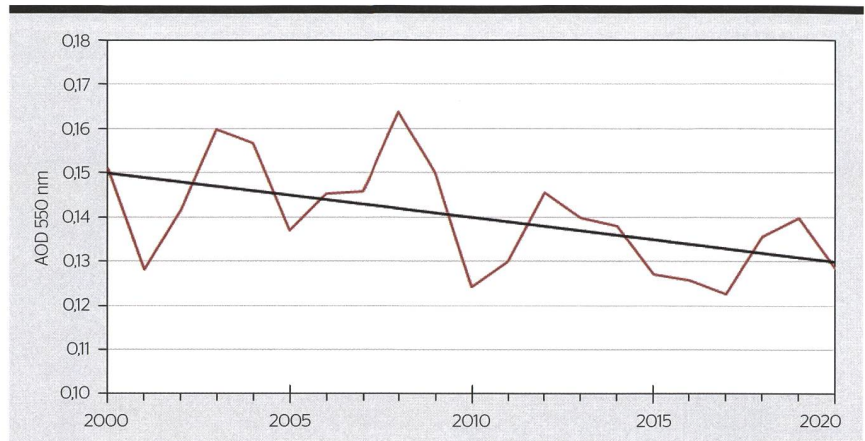


Figure 5 Valeurs annuelles moyennes de l'épaisseur optique des aérosols (AOD) de 2000 à 2020 dans le secteur du Mont-Soleil.

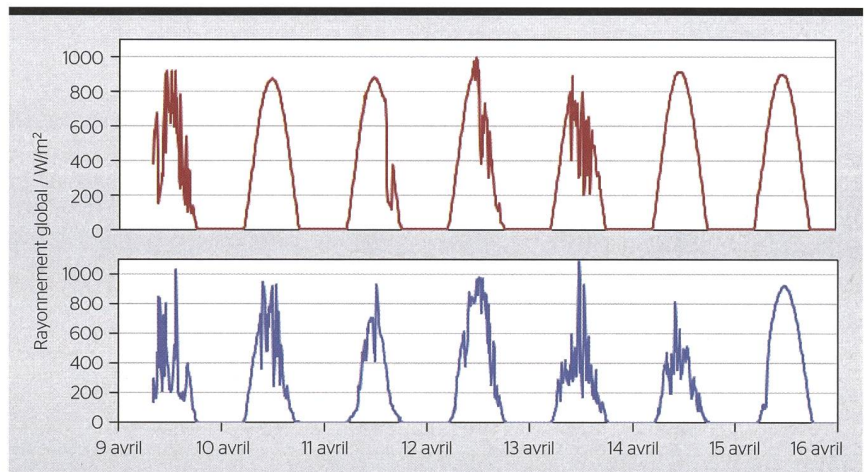


Figure 6 Évolution des valeurs du rayonnement global sur le Chasseral enregistrées toutes les 10 minutes en avril 2019 (bleu) et 2020 (rouge).

stations météorologiques régionales afin, d'une part, d'obtenir des informations détaillées relatives aux influences météorologiques sur les différentes sources d'énergie et, d'autre part, de pouvoir organiser encore plus efficacement l'interaction des différentes sources d'énergie.

Références

- [1] www.societe-mont-soleil.ch
- [2] R. Minder, « Das Solarkraftwerk Phalk Mont-Soleil: Betriebserfahrungen und erste Bilanz », Bulletin SEV/VSE 10/1993.
- [3] H. Häberlin, C. Beutler, « Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung », Bulletin SEV/VSE 4/1995.
- [4] T. Hostettler (sur mandat de l'OFEN et de Swissolar), « Le recensement du marché de l'énergie solaire en 2019 - Extrait de la statistique suisse des énergies renouvelables », juillet 2020.
- [5] www.meteosuisse.ch
- [6] J. Remund, E. Salvisberg, S. Kunz (sur mandat de l'OFEN), « Meteonorm - Meteorologische Grundlagen für die Sonnenergieerzeugung », 1995.
- [7] www.meteonorm.com
- [8] M. Wild, « Enlightening Global Dimming and Brightening », Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 93, Issue 1, janvier 2012.

- [9] S. Tibaldi, F. Molteni, « On the operational predictability of blocking », Tellus A, Vol. 42, 1990.
- [10] A. Lyapustin, Y. Wang, « MCD19A2 MODIS/Terra+Aqua Land Aerosol Optical Depth Daily L2G Global 1 km SIN Grid V006 », distribué par NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2018.
- [11] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, « Bis zu 90 Prozent weniger Kondensstreifen infolge des verminderten Flugverkehrs », 20 mai 2020.
- [12] Integrated Carbon Observation System ICOS, « ICOS study shows clear reduction in urban CO₂ emissions as a result of Covid-19 lockdown », communiqué de presse du 13 mai 2020, [icos-cp.eu/event/933](https://www.icos-cp.eu/event/933).
- [13] J. Vollenweider, « Recherche photovoltaïque sur le Mont-Soleil », Bulletin SEV/VSE 10/2019.
- [14] www.swiss-energy-park.ch

Auteurs

D^r **Jakob Vollenweider** est responsable de la technologie et du développement de la Société Mont-Soleil.
→ Société Mont-Soleil, 2610 Saint-Imier
→ jakob.vollenweider@energieboutique.ch

Jan Remund est responsable Énergie et climat chez Meteotest AG.
→ Meteotest AG, 3012 Berne
→ jan.remund@meteotest.ch

D^r **Michael Schmutz** est responsable de projet Énergie et climat chez Meteotest AG.
→ michael.schmutz@meteotest.ch

1000 Bewohner auf weniger als 0.2 m²... Display-Aussensprechstellen zum TC:Bus

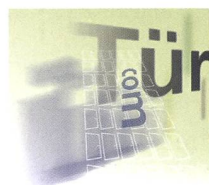
In Grossüberbauungen sind unüberschaubar viele Wohnungen an der Türsprechanlage angeschlossen. Aussensprechstellen mit interaktivem Display schaffen hier Klarheit. Sie sind topmodern, sparen viel Platz und ermöglichen schnelles Auffinden des Bewohners. Bei Mieterwechsel sind die Namen einfach überschreibbar – aufwändiges Namensschilder-Gravieren entfällt. Selbstverständlich produzieren wir auch diese Aussensprechstellen in Wunschmass- und Farbe.

Serie VTPAS/W

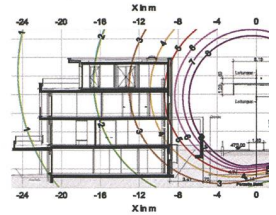
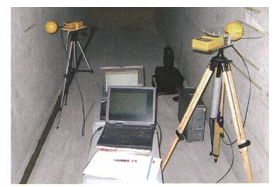
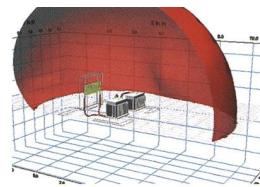
- mit Touchpanel
- Zutrittscode
- Zustandsanzeige für hindernisfreie Bauten

Serie ADIT

- Namenswahl über Drehrad oder Tastatur
- Zutrittscode bei Tastenversion



KO(H)
www.kochag.ch



messen
analysieren

NIS - Nichtionisierende Strahlung

beraten
simulieren

Beispiele aus unserer Dienstleistung

- ↪ Lückenlose Messung von Bahnmagnetfeldern mit hoher zeitlicher Auflösung
- ↪ Messung von Magnetfeldern bei zeitgleicher Erfassung der Ströme mit Hilfe von Netzanalysatoren
- ↪ Frequenzselektive Messungen
- ↪ Selektive Messungen von Funkdiensten
- ↪ Isotrope Messungen hoch- und niederfrequenter Felder
- ↪ Magnetfeldsimulation von Starkstromanlagen
- ↪ Berechnung von Strahlungswerten für OMEN im Bereich von Mobilfunkanlagen
- ↪ NISV-Beratung

ARNOLD

ENGINEERING UND BERATUNG
AG für EMV und Blitzschutz

CH-8152 Opfikon / Glattbrugg
Wallisellerstrasse 75
Telefon 044 828 15 51

info@arnoldeub.ch, www.arnoldeub.ch