

KONTROLLE DER AUSWIRKUNGEN ALPINER SOLARPARKS AUF VEGETATION UND BODEN

THOMAS MATHIS, ANDREAS STAMPFLI, ARIANE STÖCKLI, MADELEINE KRÖPFLI

Im Artikel der letzten Ausgabe (Inside 4/2023) informierten wir über die vom Kanton Bern geforderte wissenschaftliche Kontrolle der Umweltauswirkungen von alpinen Freiflächen PV-Anlage (im Rahmen des «Solarexpress») über einen Zeitraum von 10 Jahren. Dieser Ansatz ist unerlässlich, da bisher nur wenige Erkenntnisse darüber vorliegen, wie sich die Beschattung, die durch den Bau verursachten Störungen und die Veränderungen der Bewirtschaftung auf die Vegetation und Bodenfunktionen auswirken.

Zum Zeitpunkt der Genehmigung des Projekts müssen Ersatzmassnahmen für bereits **bilanzierbare technische Eingriffe** festgelegt sein. Negative Auswirkungen durch PV-Freiflächenanlagen, die erst nach einigen Jahren ermittelt

werden können, sind aktuell **nicht bilanzierbare** technische Eingriffe. Erst wenn wissenschaftlich fundierte Informationen über mögliche Beeinträchtigungen durch PV-Freiflächenanlagen vorliegen, können die zusätzlich erforderlichen Ersatzmassnahmen gemäss Artikel 18 1ter NHG im Nachhinein bilanziert und umgesetzt werden. Die bedarfsorientierten Ersatzmassnahmen sollten bereits bei der Genehmigung des Projekts skizziert werden, und die für ihre Umsetzung erforderlichen Flächen müssen verfügbar sein.

Die wissenschaftliche Methodik und das Design zur Kontrolle der Auswirkungen auf Vegetation und Boden werden zurzeit in enger Zusammenarbeit mit der Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, sowie der Bächtold & Moor AG, Ingenieur- und Umweltleistungen, entwickelt und durch Jean-Yves

Humbert (Universität Bern, Institut für Ökologie und Evolution) überprüft.

Die Studie ist in zwei Module aufgeteilt. In Modul A wird die Entwicklung von Vegetation und Boden unter verschiedenen Beschattungssituationen mit einem experimentellen Ansatz untersucht. Das Hauptinteresse dieses Moduls gilt der zeitlichen Veränderung der Pflanzengemeinschaften in Abhängigkeit der Beschattung durch Solarmodule. Das Experiment in Modul A ist so konzipiert, dass die Daten für jede Solaranlage einzeln oder über viele Anlagen gemeinsam statistisch ausgewertet werden können. Bei einer koordinierten Durchführung über viele Freiflächen PV-Anlagen könnte demnach der Einfluss verschiedener Typen von Freiflächen PV-Anlagen oder die Reaktionen verschiedener Vegetationstypen verglichen werden.

Modul B ist in Anlehnung an ein Vegeta-

SUIVI DES EFFETS DES PARCS SOLAIRES ALPINS SUR LA VÉGÉTATION ET LE SOL

THOMAS MATHIS, ANDREAS STAMPFLI, ARIANE STÖCKLI, MADELEINE KRÖPFLI

Dans l'édition d'Inside 4/2023, nous évoquons l'obligation, dans le canton de Berne, d'effectuer un suivi scientifique sur dix ans de l'impact environnemental des installations photovoltaïques construites au sol dans les Alpes (dans le cadre de l'offensive Solarexpress). Une telle approche est indispensable, car on ne dispose encore que de peu de connaissances sur l'impact de l'ombrage, des perturbations liées à la construction et du changement d'exploitation sur la végétation et les fonctions du sol.

Les mesures de remplacement obligatoires définies en amont de l'autorisation du projet compensent les **atteintes techniques** déjà **quantifiables**. Les effets négatifs des installations photovoltaïques au sol qui ne peuvent être constatés qu'au bout de plusieurs années **ne sont actuel-**

lement pas quantifiables. Des informations fondées scientifiquement sur les possibles incidences négatives sont par conséquent nécessaires pour que les éventuelles mesures de remplacement exigées au sens de l'art. 18, al. 1ter, de la loi sur la protection de la nature et du paysage puissent être quantifiées a posteriori dans le bilan d'impact et mises en œuvre. Les mesures de remplacement axées sur les besoins devraient être ébauchées dès l'autorisation du projet et les surfaces nécessaires à leur mise en œuvre doivent être libres d'affectation.

La méthode scientifique et la conception du suivi des effets sur la végétation et le sol sont actuellement élaborées en étroite collaboration avec la Haute école spécialisée bernoise, la Haute école bernoise des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL et le bureau d'ingénierie Bächtold & Moor, et soumises pour vérification à Jean-Yves Hum-

bert, de l'Institut d'écologie et d'évolution de l'Université de Berne.

L'étude s'articule en deux modules. Le module A examine l'évolution de la végétation et du sol dans des situations d'ombrage variées selon une démarche expérimentale, et plus précisément la modification au cours du temps de la composition des communautés végétales en fonction de l'ombrage dû aux panneaux photovoltaïques. La conception de l'expérience permet d'exploiter statistiquement les données pour une ou plusieurs installations solaires. Dans le cas d'une mise en œuvre coordonnée dans un grand nombre d'installations, il serait possible de comparer l'impact du type d'installation ou les réactions des différents types de végétation.

Le module B est conçu sur le modèle d'un monitoring de la végétation. Le long de transects implantés dans des types de

tionsmonitoring konzipiert. Entlang von Transekten in repräsentativen Vegetationstypen werden über die gesamte Untersuchungsdauer Vegetationsaufnahmen erfasst und Bodenproben entnommen, um die Entwicklung innerhalb einer spezifischen Anlage zu dokumentieren.

Als Grundlage für den Untersuchungsaufbau muss vor der Installation der Solaranlage die Vegetation auf der betroffenen Fläche erhoben und in die wichtigsten Vegetationstypen eingeteilt werden. Dies erfolgt idealerweise bereits im

Rahmen der Umweltverträglichkeitsberichterstattung. Zusätzliche faunistische Kontrollen von geschützten oder gefährdeten Arten (z.B. Tagfalter, Heuschrecken) können sich an der räumlichen Gliederung der Vegetation orientieren.

Störungen und Schäden an Vegetation und Boden, die bei der Installation oder durch Zwischenlagerung von Material verursacht werden, sowie Massnahmen zu deren Rekultivierung müssen protokolliert und auf einem Plan eingetragen werden. Die Bewirtschaftung der Vegetation soll sich an der bisherigen Nutzungs-

intensität orientieren. Die Bewirtschaftungsweise und -intensität muss jährlich dokumentiert werden.

Untersuchung der Beschattungseffekte und Monitoring der kumulativen Eingriffe

Für Modul A werden in jeder Solaranlage fünf Blocks innerhalb eines gleichen Vegetationstyps abgezäunt, um sie vor heterogenen Einflüssen der Bewirtschaftung abzugrenzen. Damit die Vergleichbarkeit der Resultate aus Modul A über alle Freiflächen PV-Anlagen

Abb. 1: Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus (Modul A) im selben Vegetationstyp, Umrisse verschiedener Vegetationstypen in verschiedenen Grüntönen, Blöcke und Plots vergrößert dargestellt.

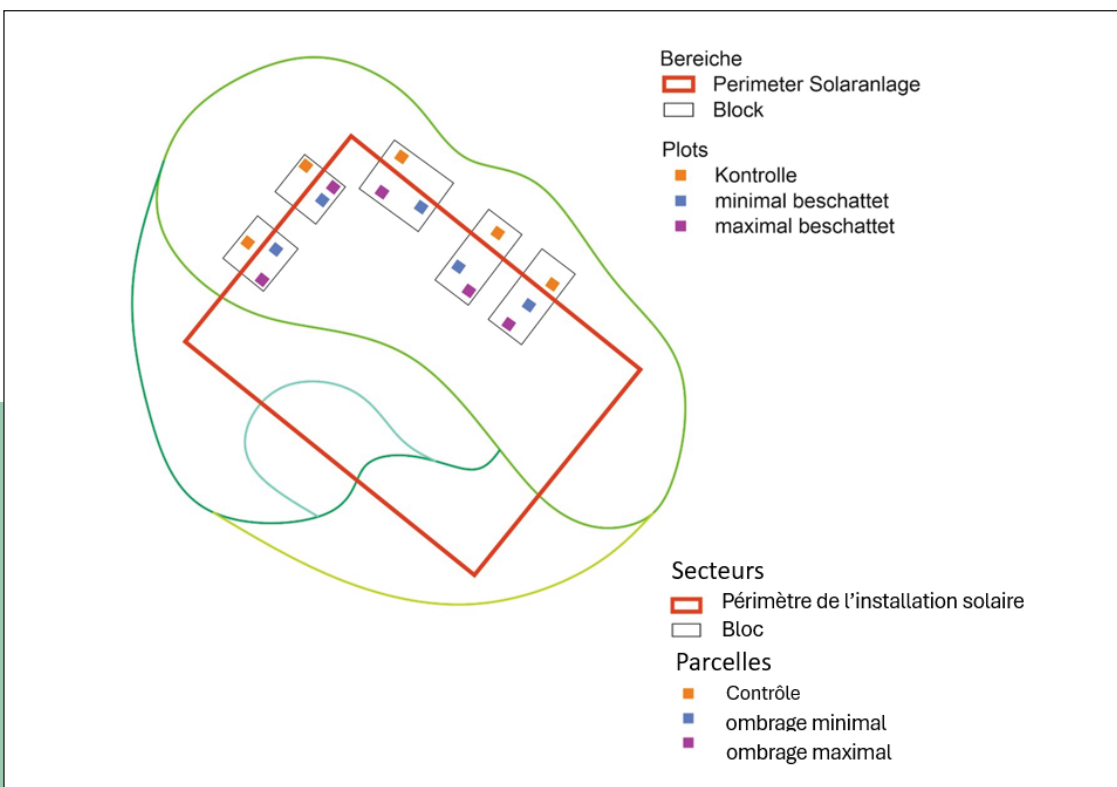


Fig. 1: Représentation schématique du dispositif expérimental (module A) au sein du même type de végétation (types de végétation délimités en tons de vert, blocs et parcelles agrandis).

végétation repräsentatifs, on effectue des relevés de végétation et des prélèvements de sol pendant toute la durée de l'expérience, afin de décrire l'évolution pour une installation spécifique.

Cette conception nécessite de relever la végétation sur la surface d'accueil avant l'implantation de l'installation solaire et de la répartir entre les principaux types de végétation. Cette étape doit avoir lieu idéalement dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement du projet. Les contrôles complémentaires d'espèces animales protégées ou menacées (papillons diurnes, sauterelles p. ex.) peuvent

prendre pour base la répartition spatiale de la végétation.

Les perturbations et les dommages causés à la végétation et au sol lors du montage ou par l'entreposage temporaire de matériel, de même que les mesures de remise en culture subséquentes, doivent être consignés dans un procès-verbal et portés sur un plan. L'exploitation de la végétation doit s'aligner sur l'intensité de l'usage antérieur. Ses modalités et son intensité doivent être chaque année consignées par écrit.

Étude des effets d'ombrage et monitoring des atteintes cumulatives

Pour le module A, sur chaque installation, on délimite par une clôture cinq blocs au sein d'un même type de végétation afin de les isoler des influences hétérogènes de l'exploitation. Afin de garantir la comparabilité des résultats entre toutes les installations, la végétation isolée par la clôture est fauchée uniformément à une fréquence correspondant à l'intensité de l'exploitation antérieure. Selon une approche expérimentale, on analyse les effets de l'ombrage dû aux panneaux photovoltaïques sur la composition des

gewährleistet werden kann, wird die Vegetation innerhalb der Abzäunung gleichmässig gemäht, wobei die Frequenz der Schnitte der bisherigen Bewirtschaftungsintensität entsprechen soll. Mit einem experimentellen Ansatz werden die Auswirkungen der Beschattung durch die Solarmodule auf die Artenzusammensetzung der Vegetation, den pH-Wert, den C-Gehalt des Bodens sowie auf funktionale Indikatoren für die Produktivität und Bodenstabilität analysiert.

Jeder Block besteht aus drei Plots, die je eine Beschattungssituation (maximal beschattet, minimal beschattet, unbeschattete Kontrolle) repräsentieren (Abb. 1).

Die Beschattungssituation wird vorgängig mithilfe eines Sonnenkompasses und eines PAR-Handmessgerät abgeschätzt. Die Untersuchungsflächen werden für die Vegetationsaufnahmen in zehn rechteckige Teilflächen unterteilt (Abb. 2). Nach dem Bau der Anlage wird die Artenzusammensetzung mit Deckungsgrad jeder Teilfläche vollständig erfasst und jeweils im Abstand von drei Jahren (1-4-7-10) erneut aufgenommen.

Das Ziel des Monitorings in Modul B ist es, die Artenzusammensetzung der Vegetation und den Zustand des Bodens vor dem Bau der Anlage zu erfassen und Veränderungen aufgrund der kumulativen Eingriffe (Bau der Anlage, Beschattung durch die Solarmodule und veränderte Bewirtschaftung) für repräsentative Teilbereichen der Solaranlage zu dokumentieren. In jeden der vorgängig ermittelten Hauptvegetationstypen wird ein mindestens 100 m langer Transekt gelegt. Entlang jedes Transekts werden 30 Untersuchungsfelder (60×60 cm) zufällig, aber stratifiziert verteilt, um einheitliche Beschattungsverhältnisse durch die regelmässige Verteilung der Solarmodule zu

Das Ziel des Monitorings in Modul B ist es, die Artenzusammensetzung der Vegetation und den Zustand des Bodens vor dem Bau der Anlage zu erfassen und Veränderungen aufgrund der kumulativen Eingriffe (Bau der Anlage, Beschattung durch die Solarmodule und veränderte Bewirtschaftung) für repräsentative Teilbereichen der Solaranlage zu dokumentieren. In jeden der vorgängig ermittelten Hauptvegetationstypen wird ein mindestens 100 m langer Transekt gelegt. Entlang jedes Transekts werden 30 Untersuchungsfelder (60×60 cm) zufällig, aber stratifiziert verteilt, um einheitliche Beschattungsverhältnisse durch die regelmässige Verteilung der Solarmodule zu

Abb. 2: Links: Schematische Darstellung eines Plots (1×1 m), welcher für die Vegetationsaufnahme in zehn Teilflächen (20×50 cm) unterteilt ist. Rechts: Die Markierung der Teilflächen mit Kunststoffstäben erleichtert und verbessert die Genauigkeit der Vegetationsaufnahme im Feld (Foto: Michaela Zeiter).

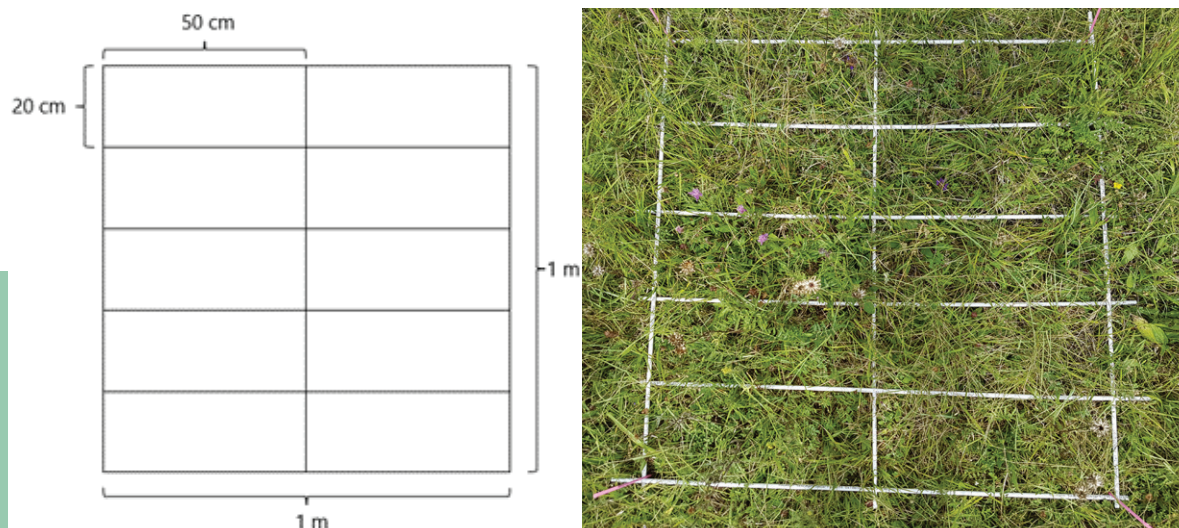


Fig. 2: À gauche, représentation schématique d'une parcelle (1×1 m), subdivisée en dix cellules de 20×50 cm pour le relevé de végétation. À droite, la matérialisation des cellules à l'aide de tiges en plastique permet un relevé plus facile et plus précis (photo: Michaela Zeiter).

espèces végétales, le pH et la teneur en carbone du sol, et des indicateurs fonctionnels de productivité et de stabilité du sol.

Chaque bloc compte trois parcelles matérialisant trois situations d'ombrage (ombrage maximal, ombrage minimal, absence d'ombrage pour la référence) (fig. 1). Les conditions d'ombrage sont d'abord évaluées à l'aide d'une boussole solaire et d'un instrument de mesure du rayonnement photosynthétiquement actif. Les surfaces d'essai sont divisées en dix cellules rectangulaires pour les relevés de végétation (fig. 2). Après la construction de l'installation, on relève dans chaque cellule la composition et le degré de couver-

ture de l'intégralité des espèces. Ce relevé est répété tous les trois ans (1-4-7-10).

Le monitoring du module B vise à décrire la composition spécifique de la végétation et l'état du sol avant la construction de l'installation, et à enregistrer les modifications dues aux atteintes cumulatives (construction de l'installation, ombrage dû aux panneaux et changement d'exploitation) dans des sous-secteurs représentatifs de l'installation. Dans chacun des types de végétation préalablement identifiés, on positionne un transekt d'au moins 100 m de longueur. Le long de chaque transekt, on dispose 30 surfaces d'essai (60×60 cm) de manière aléatoire stratifiée, afin

d'éviter des conditions d'ombrage uniformes dues à l'implantation régulière des modules. Le relevé de végétation est effectué initialement avant la construction de l'installation puis répété tous les trois ans (3-6-9).

Afin que toutes les espèces de plantes puissent être identifiées avec certitude dès la première année, le relevé de végétation doit être effectué sur toutes les surfaces une première fois un mois au moins avant le premier pacage ou la première fauche, puis une seconde fois au bout de deux à quatre semaines.

vermeiden. Die erste Vegetationsaufnahme erfolgt vor der Installation der Solaranlage und wird anschließend alle drei Jahre (3-6-9) wiederholt.

Damit alle Pflanzenarten bereits im ersten Jahr sicher bestimmt werden können, muss die Vegetation aller Flächen mindestens einen Monat vor der ersten Beweidung bzw. Mahd erstmals aufgenommen und die Vegetationsaufnahme nach zwei bis vier Wochen wiederholt werden.

Analyse von pH-Wert und organischem Kohlenstoffgehalt im Boden

Im Ausgangszustand, also vor dem Bau der Solaranlage, und 10 Jahre danach werden der pH-Wert und der organische C-Gehalt des Bodens in je 50 Mischproben der obersten 2-22 cm des Bodens im Labor analysiert. Für jede Mischprobe werden mit einem Pürckhauer neun Teilproben aus 1×1-m-Quadraten ausgestochen und gemischt, dabei werden insgesamt 20 Mischproben im Abstand von jeweils 1 m zu den (maximal beschatteten bzw. unbeschatteten) Untersuchungsflächen von Modul A sowie 30 Mischproben im Abstand von jeweils 1 m zu den Unter-

suchungsflächen eines Hauptvegetationstyps von Modul B entnommen. Der Standort jeder Mischprobe wird dokumentiert, so dass 10 Jahre später direkt angrenzende Stellen beprobt werden können. Die Probenahmen sollen jeweils im Frühling vor dem Austrocknen der Böden durchgeführt werden. Von den Mischproben des Ausgangszustandes wird ein Teil sofort analysiert und der Rest als Rückstellprobe kühl-trocken aufbewahrt. Die Rückstellproben dienen als Kontrolle der Laboranalysen nach 10 Jahren.

Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR)

Im Verlauf der 10-jährigen Untersuchung wird bei jeder Solaranlage in einem Block von Modul A die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR-Photonen-Flussdichte PPFD in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) für drei Beschattungssituationen kontinuierlich über eine gesamte Vegetationsperiode gemessen. Anhand von weiteren kontinuierlichen PAR-Messungen über mehrere Wochen in allen anderen Blocks wird die Beschattungssituation für jeden einzelnen Plot als relative PAR-Reduktion gegenüber

dem unbeschatteten Plot bestimmt.

Analyse von Vegetationsveränderungen

Die Vegetationsdaten werden als Zeitreihen der Häufigkeit oder des Deckungsgrades einzelner Arten, der relativen Häufigkeit von Artengruppen (Grasartigen, Kräutern, Leguminosen, Zwergsträuchern), der Anzahl Arten und der häufigkeitsgewichteten Mittelwerte der funktionellen Eigenschaften «spezifische Blattfläche» (SLA) und «maximale Wurzeltiefe» über alle Arten der Pflanzengemeinschaft analysiert. Werte für die SLA und «maximale Wurzeltiefe» werden mehrheitlich der Datenbank für Pflanzenmerkmale (TRY-Datenbank) entnommen.

Über die Häufigkeit gewichtet und über alle Arten gemittelt ergeben SLA und Wurzeltiefe einerseits Hinweise auf die Produktivität des Ökosystems und andererseits auf die Bodenstabilität. Die zeitlichen Veränderungen sowie die Zusammenhänge zwischen Beschattung (PAR-Reduktion) und Vegetationsveränderungen werden mit Varianz- oder Regressionsanalyse für jede Freiflächen

Analyse du pH et de la teneur en carbone organique du sol

Au stade initial – avant la construction de l'installation – et dix ans plus tard, le pH et la teneur en carbone organique du sol sont chacun analysés en laboratoire dans 50 échantillons mélangés provenant des 2 à 22 premiers centimètres du sol superficiel. Un échantillon mélangé s'obtient en prélevant au moyen d'un extracteur de tarière Pürckhauer neuf sous-échantillons sur des carrés de 1×1 m puis en les mélangeant. Au total, 20 échantillons mélangés sont prélevés à des distances de 1 m des surfaces d'essai (ombragées au maximum ou non ombragées) du module A, et 30 échantillons mélangés sont prélevés à des distances de 1 m des surfaces d'essai d'un type de végétation principal du module B. Le lieu de prélèvement de chaque échantillon mélangé est enregistré afin que les prélèvements prévus au bout de dix ans soient effectués sur les surfaces adjacentes. Les prélèvements doivent être réalisés au printemps avant le dessèchement des sols. Une partie des échantillons mélangés du stade initial sont analysés immédiatement. Les autres sont conservés comme échantillons de référence dans

une atmosphère sèche et fraîche et servent de témoin pour les analyses effectuées après dix ans.

Mesures du rayonnement photosynthétiquement actif (RPA)

Pendant les dix années de l'étude, on mesure sur chaque installation le RPA (densité du flux photonique photosynthétique DFPP en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) au niveau d'un bloc du module A pour trois situations d'ombrage, et ce en continu sur une période de végétation complète. Sur tous les autres blocs, la situation d'ombrage de chaque parcelle est déterminée en termes de réduction relative du RPA par rapport à la parcelle non ombragée, à partir d'autres mesures du RPA continues sur plusieurs semaines.

Analyse des changements de végétation

Les données sur la végétation sont analysées comme séries chronologiques de la fréquence ou du degré de couverture d'espèces, de la fréquence relative de groupes d'espèces (graminiformes, herbacées, légumineuses, buissons nains), du nombre d'espèces, ainsi que des moyennes pondérées par la fréquence des propriétés fonctionnelles que sont la

surface foliaire spécifique (SFS) et la profondeur d'enracinement maximale pour toutes les espèces de la communauté végétale. Les valeurs de SFS et de profondeur d'enracinement maximale proviennent pour la plupart de la base de données TRY sur les caractéristiques des plantes.

La SFS et la profondeur d'enracinement exprimées en valeur pondérée par la fréquence et en moyenne de toutes les espèces renseignent sur la productivité de l'écosystème et la stabilité du sol. Les changements dans le temps et les relations entre ombrage (réduction du RPA) et modifications de la végétation sont calculés par analyse de la variance ou de la régression pour toutes les installations et pour chacune d'entre elles.

Nécessité d'un transfert de savoir entre cantons

La proposition est en phase d'achèvement et sera intégralement disponible fin février 2024. Afin de garantir un transfert de savoir de la meilleure qualité possible et d'optimiser le gain de connaissances espéré sur ces problématiques, le Service de la promotion de la nature du canton de

PV Anlage einzeln und über alle Anlagen ermittelt.

Wissenstransfer mit anderen Kantonen notwendig

Gegenwärtig befindet sich der Vorschlag noch in der abschliessenden Phase und wird Ende Februar 2024 vollständig vorliegen. Um einen bestmöglichen Wissenstransfer zu gewährleisten und den erhofften Erkenntnisgewinn zu diesen Fragestellungen zu maximieren, lädt die Abteilung Naturförderung des Kantons Bern zu einem Erfahrungsaustausch mit anderen Kantonen ein.

Kontakt

Thomas Mathis

Abteilung Naturförderung Kanton Bern Fachbereich Stellungnahmen und Beratung

Tel. +41 31 635 48 58.

E-mail: thomas.mathis@be.ch

Autoren/Autorin

Thomas Mathis

Abteilung Naturförderung, Kanton Bern

E-mail: thomas.mathis@be.ch

Andreas Stampfli

Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen BE

E-mail: andreas.stampfli@bfh.ch

Ariane Stöckli

Bächtold und Moor, Bern

E-mail: ariane.stoekli@baechtoldmoor.ch

Madeleine Kröpfli

Bächtold und Moor, Bern

E-mail: madeleine.kroepfli@baechtoldmoor.ch

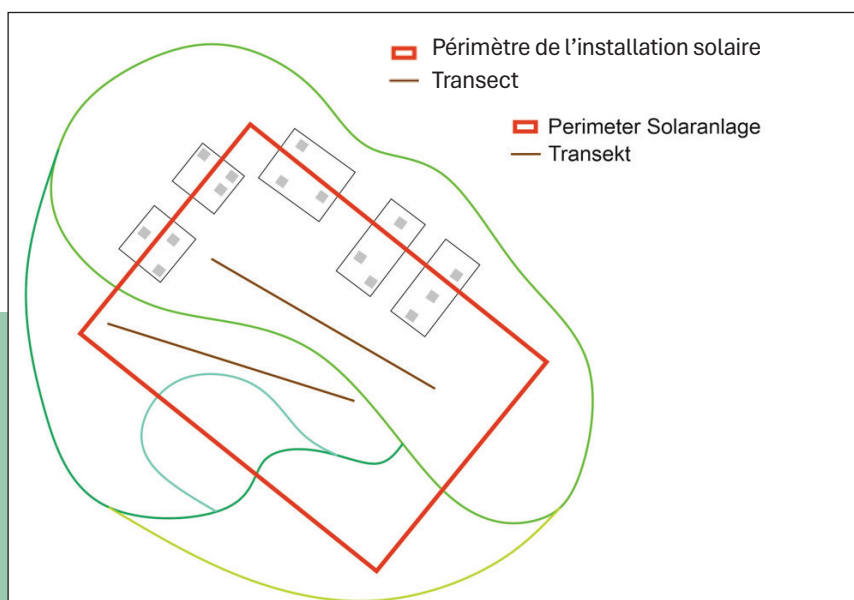


Abb. 3: Schematische Darstellung des Monitorings (Modul B) entlang von mindestens 100 m langen Transekten in zwei Vegetationstypen einer Solaranlage mit vier Vegetationstypen.

Fig. 3: Représentation schématique du monitoring (module B) le long de transects d'au moins 100 m de long dans deux types de végétation, dans le périmètre d'une installation solaire comprenant quatre types de végétation

Berne invite à un échange d'expériences avec d'autres cantons.

Renseignements

Thomas Mathis

Service de la promotion de la nature du canton de Berne, domaine Prises de position et conseils,

tél. +41 31 635 48 58

Courriel: thomas.mathis@be.ch

Rédaction

Thomas Mathis

Service de la promotion de la nature, canton de Berne

Courriel: thomas.mathis@be.ch

Andreas Stampfli

Haute école bernoise des sciences agronomiques forestières et alimentaires HAFL Zollikofen BE

Courriel: andreas.stampfli@bfh.ch

Ariane Stöckli

Bächtold & Moor Berne

Courriel: ariane.stoekli@baechtoldmoor.ch

Madeleine Kröpfli

Bächtold & Moor, Berne

Courriel: madeleine.kroepfli@baechtoldmoor.ch