

# ÉTUDE DE FAISABILITÉ

Installation de panneaux solaires sur les toitures du campus scolaire et sur le parking des professeurs.

6C6 – cours SciTe 2022/23

Lycée Ermesinde





*Notre campus scolaire en 2026*



Au cours de l'année scolaire 2022/23 cette œuvre a été réalisée par la classe 6C6 du Lycée Ermesinde au cours de 12 unités d'enseignement et, par certains étudiants engagés, pendant les études.

## Contenu

Introduction.....	5
Le projet .....	7
Calcul surface utilisable du bâtiment scolaire et du parking de professeurs .....	9
Calcul de la quantité annuelle d'énergie produite par les panneaux solaires.....	11
Utilisation de l'énergie et calcul bénéfice .....	14
Construction.....	16
Choix du type de panneau solaire, monocristallin ou polycristallin .....	16
Les différents systèmes d'installations.....	16
Frais de construction.....	19
Financer l'installation de panneaux solaire.....	19
État sur autres bâtiments publiques .....	22
Promotion .....	24
Theorie der Photovoltaik.....	27
Annexe.....	39
Sources.....	43

# Introduction<sup>1</sup>

Les énergies renouvelables sont de plus en plus importantes dans notre monde en raison de leur impact environnemental moindre par rapport aux énergies fossiles. Les énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, géothermique et biomasse, sont renouvelables et inépuisables, contrairement aux combustibles fossiles qui s'épuisent et causent des dommages environnementaux importants. Les énergies renouvelables peuvent également stimuler l'innovation et la création d'emplois dans les industries émergentes de l'énergie verte. *La transition vers une utilisation accrue des énergies renouvelables est donc essentielle pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre le changement climatique, tout en favorisant la durabilité économique et environnementale.*

Notamment les panneaux solaires sont de plus en plus populaires en raison de leurs avantages économiques, environnementaux et pratiques. Tout d'abord, les panneaux solaires sont une source d'énergie renouvelable et propre. Cela signifie qu'ils ne produisent pas de gaz à effet de serre ni de déchets nucléaires, ce qui les rend beaucoup plus respectueux de l'environnement que les sources d'énergie traditionnelles telles que le pétrole, le gaz et le charbon. De plus, les panneaux solaires sont une source d'énergie inépuisable, car ils tirent leur énergie du soleil, une source d'énergie abondante qui ne peut jamais être épuisée.



*Luxtram s'engage pour le futur énergétique du Luxembourg*

En outre, les panneaux solaires peuvent aider les gens à réduire leur facture d'électricité. En produisant leur propre électricité, les propriétaires de panneaux solaires peuvent dépendre moins du réseau électrique et économiser de l'argent sur leur facture d'électricité. De plus, les gouvernements peuvent inciter les propriétaires de panneaux solaires à produire de l'électricité en offrant des subventions et des crédits d'impôt. Enfin, les panneaux solaires sont faciles à installer et à utiliser. Ils peuvent être installés sur une variété de bâtiments, y compris les maisons, les entreprises et les bâtiments municipaux. De plus, une fois installés, les panneaux solaires ne nécessitent que peu d'entretien et peuvent durer plusieurs décennies.

En résumé, les panneaux solaires offrent de nombreux avantages pour notre société et notre planète.

<sup>1</sup> L'introduction est entièrement conçue par l'intelligence artificielle ChatGPT (OpenAI.com, 2023).

L'installation de panneaux solaires sur le toit d'une école présente de nombreux avantages pour l'école, les étudiants et la communauté.

Tout d'abord, les panneaux solaires peuvent aider à réduire les coûts de l'école en matière d'énergie. En produisant leur propre électricité, les écoles peuvent réduire leur dépendance au réseau électrique et économiser de l'argent sur leur facture d'électricité. Cet argent peut être utilisé pour d'autres projets importants dans l'école, tels que l'achat de nouveaux équipements ou la rénovation de salles de classe.

En outre, l'installation de panneaux solaires sur le toit d'une école peut être un outil pédagogique pour les étudiants. Les étudiants peuvent en apprendre davantage sur les sources d'énergie renouvelables et les avantages des panneaux solaires. Les écoles peuvent également organiser des visites guidées pour les étudiants et la communauté pour enseigner sur l'importance des énergies propres.



*Le Lycée du Nord à Wiltz a installé des modules solaires sur une surface totale de 4660 mètres carrés (Paul Wagner et fils, 2023)*

De plus, les panneaux solaires sont une source d'énergie propre et respectueuse de l'environnement. Les écoles peuvent utiliser cet atout pour montrer leur engagement envers la protection de l'environnement et l'utilisation responsable des ressources naturelles.

Enfin, les panneaux solaires peuvent être un atout pour la communauté en général. Les écoles peuvent partager leur excédent d'électricité avec les habitants de la communauté, ce qui peut aider à réduire les coûts d'électricité pour les résidents locaux.

En résumé, l'installation de panneaux solaires sur le toit d'une école présente de nombreux avantages pour l'école, les étudiants et la communauté. Elle peut aider à réduire les coûts d'énergie, être utilisée comme un outil pédagogique, être une source d'énergie propre et respectueuse de l'environnement, et être un atout pour la communauté en général. Les écoles devraient considérer sérieusement l'installation de panneaux solaires sur leur toit pour le bénéfice de tous.

## Le projet

Notre objectif est de promouvoir la construction d'un toit solaire sur notre école et sur le parking des professeurs. Les raisons en ont été expliquées de manière exhaustive dans l'introduction. Dans notre étude, nous examinons donc dans quelle mesure cela serait possible. Dans ce cadre on a déterminé la surface utilisable et analysé les éventuels frais de constructions, compte tenu des aides financières ou autres soutiens éventuels. Ensuite on a calculé le rendement possible de l'énergie électrique, qui est obtenu grâce aux panneaux solaires. De plus, nous discutons différentes utilisations de l'énergie électrique et estimons le profit possible. Enfin, nous préparons différentes manières de promouvoir le projet au sein de notre communauté scolaire.

Une partie principale de notre idée est l'installation de panneaux solaires sur toutes les toitures des bâtiments sur notre campus.



*Lycée Ermesinde - toitures avec panneaux solaires (photomontage)*



*Principe d'une toiture solaire d'un parking*

Une autre partie de l'idée est l'installation de panneaux solaires et de bornes électriques sur le parking de professeurs afin que les enseignants, qui possèdent des voitures électriques, puissent facilement recharger leurs voitures.



*Parking de professeurs - avec panneaux solaires partiellement installés*



*Bornes de charge publiques "Chargy"*

## Calcul surface utilisable du bâtiment scolaire et du parking de professeurs

Pour calculer la surface utilisable, on a visité le site Géoportail.lu (Géoportail.lu, 2023), on a cherché le lycée Ermesinde par son adresse et on a utilisé l'outil « calculer l'air » du portail.

Puis, on a calculé l'air brut des toits du lycée Ermesinde, du LTPES, du bâtiment WAVES, de l'internat et de la salle de sport et du parking des professeurs. Ensuite on a déterminé la surface inutilisable. Ça signifie la soustraction de toutes les surfaces où se trouvent des structures de surface sur les toits. Respectivement les voies de circulations sur le parking.



Lycée Ermesinde – zone jaune: outil "calculer l'air".

La zone brut des toitures de tous les bâtiments et la surface net du parking (toute la surface de stationnement) est de 12714 m<sup>2</sup>. La surface inutilisable sur les toitures mesure environ 3570 m<sup>2</sup>. Par conséquent, il y a 9144 m<sup>2</sup> de surface utilisable. De cette surface (9144 m<sup>2</sup>), nous estimons qu'on peut utiliser à peu près entre 5000 m<sup>2</sup> et 7000 m<sup>2</sup> pour l'installation de panneaux solaires. Cette estimation suffisamment conservatrice est basée sur le besoin d'un certain espace entre les rangées des panneaux solaires. En résumé on pourrait presque certainement installer entre 5000 m<sup>2</sup> et 7000 m<sup>2</sup> de panneaux solaires sur notre campus scolaire.

surface	aire en m <sup>2</sup>
Waves	540 m <sup>2</sup>
Ermesinde	4010 m <sup>2</sup>
Internat	980 m <sup>2</sup>
Salle de Sport	2034 m <sup>2</sup>
LTPES	4350 m <sup>2</sup>
Parking (net)	800 m <sup>2</sup>
surface totale (brut)	12714 m <sup>2</sup>
surface pas utilisable	3570 m <sup>2</sup>
surface net	12714 m <sup>2</sup> - 3570 m <sup>2</sup> = 9144 m <sup>2</sup>
surface panneaux solaires (on a soustrait couloirs entre les rangées)	5000 - 7000 m <sup>2</sup>

Calcul de la surface utilisable

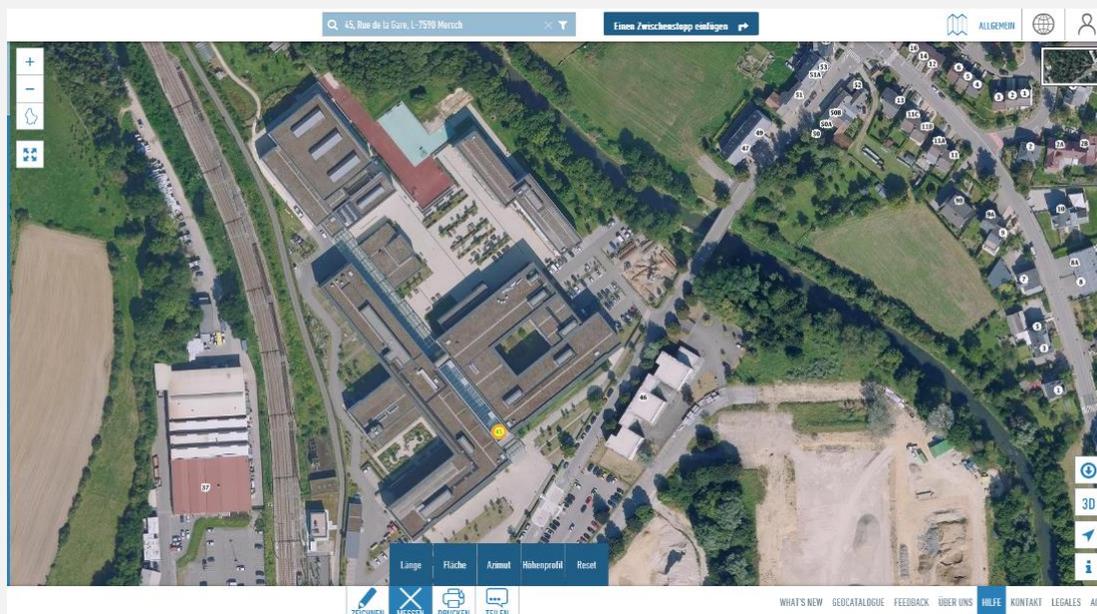


Figure 1 Toitures du campus scolaire avec structures de surface

## Calcul de la quantité annuelle d'énergie produite par les panneaux solaires

Afin de savoir combien d'énergie nous produisons, nous devons d'abord connaître approximativement l'intensité du rayonnement solaire annuel. L'irradiation solaire arrive à au bord de l'atmosphère avec une puissance d'environ  $1367 \text{ W/m}^2$ . C'est ce qu'on appelle la constante solaire.

Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la Terre et son atmosphère sont réfléchis vers l'espace. Une partie du rayonnement qui atteint la Terre a été diffusée dans toutes les directions au cours de la traversée de l'atmosphère, en rencontrant des molécules d'air, des aérosols et des particules de poussière. D'autre part, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone de l'atmosphère absorbent 10 à 15 % du rayonnement solaire. Le reste du rayonnement atteint directement la surface.

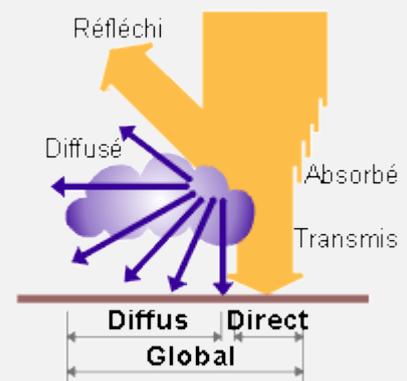
La puissance solaire maximale à la surface de la Terre est d'environ  $1\,000 \text{ W/m}^2$  pour une surface perpendiculaire aux rayons. Le rayonnement solaire reçu sur une surface varie au même titre au cours du temps en fonction de la position du Soleil et de la couverture nuageuse.

Suivant les conditions météorologiques, le rayonnement nous parviendra selon ses composantes diffuses et directes en proportion plus ou moins grande. On considère en général que l'on reçoit du rayonnement solaire annuel global environ 50 %. Par conséquent la puissance solaire qu'on obtient en moyenne et de

$$0.5 \cdot 1000 \text{ W/m}^2 = 500 \text{ W/m}^2$$

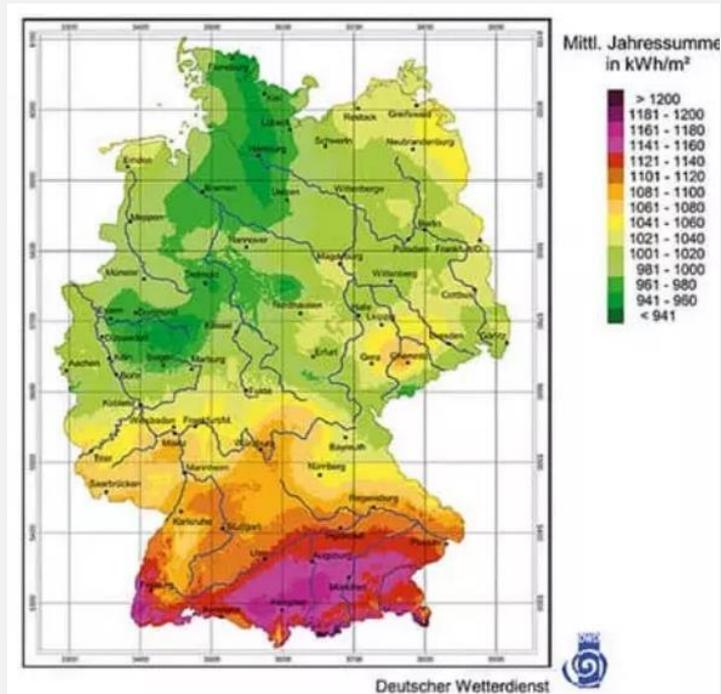
Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement par an en Luxembourg pendant les années 1991 – 2020 est de 1803 heures (Meteolux.lu, 2023). Cependant pendant l'année 2022 on a eu 2234 heures d'ensoleillement, 431 heures en plus. Face au changement climatique nous osons estimer les heures moyennes d'ensoleillement à environ 2000 h/a. Alors, si on multiplie les heures moyennes d'ensoleillement par an avec la puissance moyenne solaire on obtient l'énergie solaire qui arrive sur les panneaux solaires au cours de l'année :

$$500 \text{ W/m}^2 \cdot 2000 \text{ h/a} = 1000 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$$



*Le rayonnement solaire global est ici considéré sur une surface horizontale*

En résumé et sous notre climat, le Soleil nous apporte annuellement environ 1 000 kWh/m<sup>2</sup> au sol, l'équivalent énergétique de 100 litres de mazout par m<sup>2</sup>. Pour Trèves le moyen annuel de cette quantité d'énergie solaire global est de 1041 kWh/m<sup>2</sup> à 1060 kWh/m<sup>2</sup>.



Plan d'enseillement Allemagne

Également il faut observer l'influence de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires. Il est bien entendu clair que la quantité d'énergie reçue sur une surface dépendra de son orientation et de son inclinaison. Le graphe ci-dessous montre cette influence en Belgique (l'azimut se lit sur la circonférence et la hauteur du Soleil sur les cercles intérieurs) :

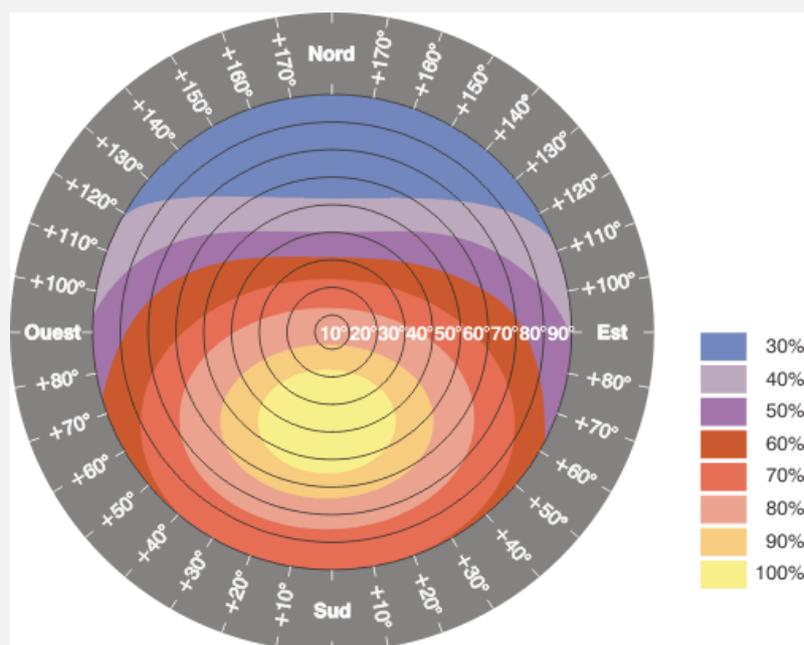


Figure 2 Une surface inclinée à 38° (en Belgique) au sud recevra un maximum d'énergie solaire. Une surface verticale à l'est ne recevra que 50 % de cette énergie maximale.

L'énergie ainsi calculée doit être multipliée par le degré d'efficacité des modules solaires pour obtenir le rendement énergétique. L'efficacité énergétique d'un système est le rapport énergétique entre la quantité d'énergie délivrée et la quantité d'énergie absorbée ou convertie. Pour les modules solaires modernes ce degré d'efficacité est d'environ de 17 %. Il s'agit de l'efficacité moyenne pour les modules poly- et monocristallins.

$$1000 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \cdot 0.17 = 170 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$$

Avec une surface photovoltaïque de 5000 m<sup>2</sup> - 7000 m<sup>2</sup> on obtient

$$170 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \cdot 5000 m^2 / 7000 m^2 = 850000 / 1190000 \frac{kWh}{a}$$

Par souci de simplicité, nous supposerons un rendement moyen énergétique de

$$\mathbf{1.000.000 kWh/a}$$

pour les calculs ultérieurs. Cela correspond à une puissance d'environ 1000 kWc. Le watt-crête (Wc) est une indication basée sur un standard. Il correspond à la puissance électrique maximale pouvant être fournie par un panneau photovoltaïque dans des conditions de température et d'ensoleillement standard (energuide.be, 2023).

Le rendement moyen européen du charbon était d'environ 2 630 kWh/tonne (énergie électrique) en 2009. Brûler une tonne de charbon dégage à peu près 1900 kg CO<sup>2</sup> (Oxfam.de, 2023).

***Ainsi, un système solaire sur le campus de notre école permettrait d'économiser environ 380 tonnes de charbon par an. Respectivement on épargnerait d'environ 750 t kg de CO<sub>2</sub> par an (volker-quasching.de, 2023). Également, en supposant une consommation d'électricité d'environ 6000 kWh par ménage et par an, l'électricité produite pourrait alimenter 166 ménages pendant l'année. Ce serait presque tout Beringen.***

*(Pour mettre notre calcul en perspective : Les panneaux solaires sur le Lycée du nord de 4660 m<sup>2</sup> ont une puissance de 952,8 kWc et épargnent jusqu'à 370 t d'émissions de CO<sup>2</sup> selon (Paul Wagner et fils, 2023).)*

# Utilisation de l'énergie et calcul bénéfice

Pour l'utilisation de l'énergie gagné par le soleil on a trois proposes :

- Utilisation pour le besoin électrique de l'école
- Vente de courant (injection dans le réseau publique)
- Installation des bornes électriques sur le parking de professeurs (VMP)

Selon Global Facilities notre campus scolaire consomme un maximum de 500.000 kWh d'énergie électrique par an. Par conséquence il faut déduire ce montant des 1.000.000 kWh d'énergie électrique produits par an.

$$1.000.000 \text{ kWh} - 500.000 \text{ kWh} = 500.000 \text{ kWh}$$

Ainsi, en installant des panneaux solaires, on économiserait l'achat de 500.000 kWh d'électricité par an et cela se traduirait au maximum par un bénéfice de

$$500.000 \text{ kWh} \cdot 0.18 \text{ €} = 90.000 \text{ €}$$

Nous faisons l'hypothèse que 4 bornes de recharge de 22 kW sont installées sur le parking de l'enseignant. Si nous supposons maintenant que chaque borne de recharge est occupée environ 1 - 3 heures par jour, cela représente 4 - 12 heures de recharge par jour. Avec environ 176 jours de travail par an, cela fait 2112 heures de charge par an. Alors

$$4 \cdot 1h/3 h \cdot 176 j \cdot 22 \text{ kWh} = 15.488 \text{ kWh} / 46.464 \text{ kWh}$$

Par conséquence on peut probablement vendre entre 15.000 kWh et 50.000 kWh par an aux professeurs de l'établissement. D'après ACL (ACL, 2023) le prix est de 34.5 ct / kWh. Du calcul suit

$$15.000/50.000 \text{ kWh} \cdot 0,345 \text{ €} = 5.175/17.250 \text{ €}$$

Par conséquent, des revenus entre d'environ 5000 – 17000 € par an pourraient être générés seulement avec les bornes de recharge. Ici, il ne faut pas oublier que si l'électricité n'est pas utilisée par les bornes électriques, elle peut être quand même injectée dans le réseau public.

Pour injecter l'énergie électrique qui est produit par les panneaux solaires dans le réseau électrique publique il faut signer un contrat avec une des entreprises CREOS ou ENOVOS. Selon Klima-Agence.lu (Klima-Agence.lu, 2023) le tarif d'injection pour une installation de

10 kW<sub>c</sub> – 30 kW<sub>c</sub> est de 0,1372 €/kWh. Étant donné que notre installation est plus grande et que l'on doit signer un contrat spécial avec une des entreprises lesdites, nous ne pouvons qu'estimer avec ce nombre. Conséquemment l'énergie électrique qui reste pour l'injection au réseau électrique publique est de

$$500.000 \text{ kWh} - 15.000/50.000 \text{ kWh} = 485.000/450.000 \text{ kWh}$$

Dans ce cas, on toucherait entre

$$485.000/450.000 \text{ kWh} \cdot 0.1372\text{€} = 66.542/61.740\text{€}$$

environ 62000 € - 66000 € pour la vente dans le réseau électrique publique.

**En résumé, on peut dire que non seulement les besoins électriques du campus scolaire pourraient être couverts, mais que l'on réaliserait également un bénéfice annuel supplémentaire d'environ 145.000 – 165.000 € (bornes et injection dans réseau publique et économie d'achat d'électricité).**

**Bénéfice annuel : 145.000 – 165.000 €**

Tarif d'injection pour les installation de 0 kW <sub>c</sub> à 10 kW <sub>c</sub>	
Début de l'injection	Tarif € / kWh
2022	0,1506
2023	0,1461
2024	0,1417
2025	0,1374

Tarif d'injection pour les installation de 10kW <sub>c</sub> à 30 kW <sub>c</sub>	
Début de l'injection	Tarif € / kWh
2022	0,1415
2023	0,1372
2024	0,1331
2025	0,1291

*Tarifs d'injection pour les installations moindres*

# Construction

## Choix du type de panneau solaire, monocristallin ou polycristallin

Les modules solaires monocristallins et polycristallins sont deux types de technologies de panneaux solaires photovoltaïques utilisés pour convertir l'énergie solaire en électricité. La principale différence entre ces deux technologies est le type de cellule solaire utilisée pour produire l'énergie.

Les cellules solaires monocristallines sont fabriquées à partir d'un seul cristal de silicium pur, ce qui leur donne une apparence uniforme et lisse. Les cellules solaires polycristallines sont fabriquées à partir de plusieurs cristaux de silicium, ce qui leur donne une apparence granuleuse.

En termes de performance, les cellules solaires monocristallines ont généralement un rendement légèrement supérieur à celui des cellules solaires polycristallines. Cela



*Structures mono- et polycristallin*

signifie que les modules solaires monocristallins produisent plus d'énergie par mètre carré de panneau que les modules solaires polycristallins. Cependant, les modules solaires polycristallins sont souvent un peu moins chers que les modules solaires monocristallins. En fin de compte, le choix entre un module solaire monocristallin ou polycristallin dépendra des besoins et du budget spécifiques de chaque projet solaire. Si l'espace est limité et qu'un rendement maximal est nécessaire, les modules solaires monocristallins peuvent être le meilleur choix. Si le coût est une considération clé, les modules solaires polycristallins peuvent être un choix plus économique.

## Les différents systèmes d'installations

Pour les toits plats ainsi que les toits à faible pente, on peut distinguer (parmi d'autres) trois systèmes différents : les systèmes fixés, les systèmes posés et les systèmes thermosoudé au toit, dans lesquels les modules photovoltaïques sont directement intégrés dans la membrane d'étanchéité. Il faut adapter le choix du système en fonction des conditions de bases. Un contrôle d'étanchéité doit toujours avoir lieu avant le montage.

### *Système fixée au toit*

La manière la plus sûr de fixer une installation photovoltaïque est de l'ancrer dans la structure du toi. Donc que les fixations traversent le niveau d'étanchéité. Ce système

contrairement à ce qu'on pourrait croire est assez sûr au niveau de l'étanchéité sachant que les fixations sont normalement préfabriquées et les techniques d'assemblages adaptés à la toiture. Cependant il y a des risques à prendre en compte, il y a toujours une chance que l'installation ait causé des dégâts vus qu'il faut percer l'étanchéité du toit.

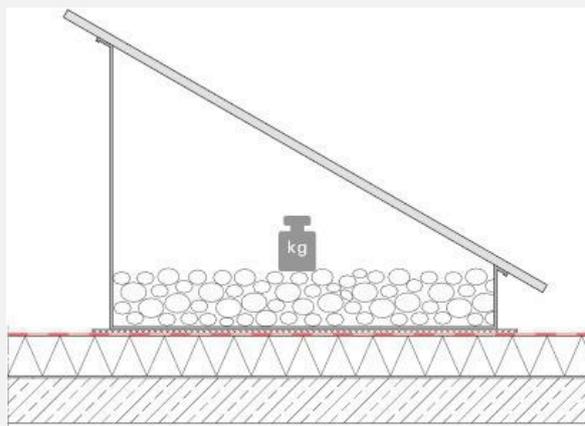


*Installation fixée au toit*

### *Système posé avec un système de lestage*

Une autre façon d'installer des panneaux est le système posé. Comme son nom l'indique, les panneaux sont posés sur le toit. Comme ils ne sont pas intégrés dans la toiture ils doivent être sécurisés ainsi que fixés d'une autre manière contre le vent ou autres forces.

Une méthode simple est de sécuriser la position par surcharge. Pour cela un système de bac soit rempli de plaques de béton ou de graviers est utilisé. L'avantage contrairement à la méthode mentionnée ci-dessus est que l'étanchéité n'est pas traversée. Néanmoins un des inconvénients est le poids important. Selon les endroits, il faudrait jusqu'à 100kg/m<sup>2</sup> (de toiture pour maintenir la stabilité de la position. (Cependant, en règle générale, jusqu'à 25 kg/m<sup>2</sup> sont suffisants.) Sans oublier la neige qui peut ajouter encore du poids. Le toit de beaucoup de bâtiments ne peut tout simplement pas supporter une telle charge.



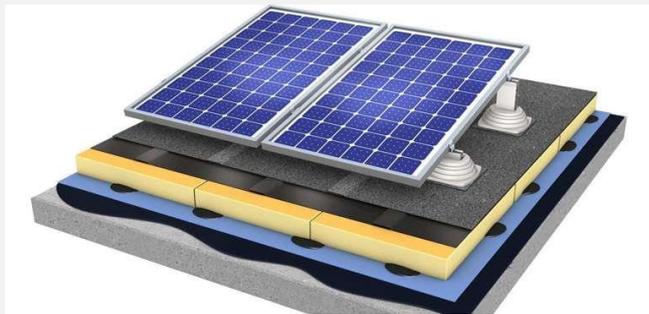
*Esquisse d'un système posé par lestage*



*Ballast en béton résistant au vent et avec une charge uniformément distribuée max 20-25 kg/m<sup>2</sup> y compris le poids des panneaux*

### *Système thermosoudé*

Compatible avec les systèmes d'étanchéité bitumineux, ce système ne requiert aucun perçage à l'installation, et ne nécessite pas l'ajout de poids sur la toiture pour maintenir les supports en place. Le système reposant uniquement sur l'adhésion par thermo soudage entre le plot et le complexe d'étanchéité, cependant il pourrait être difficile d'obtenir des assurances quant à la résistance au vent, par exemple.



Pour éviter ce problème on peut mettre une couche de lestage et là-dessus une couche bitumineuse sur le complexe d'étanchéité et souder les panneaux solaires avec la couche bitumineuse supérieure.

*Système thermosoudé, également on peut mettre une couche de lestage sur le complexe d'étanchéité et souder les panneaux solaires là-dessus*

En résumé, on peut installer des panneaux solaires sur un toit plat cependant il faut être sûr que le toit supportera le poids de l'installation pendant au moins 25 ans ce qui est la durée de vie moyenne de panneaux solaires. Le choix du système dépend finalement de l'état du toit et des possibilités financières.

## Frais de construction

Le coût d'installation de panneaux solaires sur un toit plat peut varier considérablement en fonction de divers facteurs, notamment le type et la taille des panneaux solaires, la complexité de l'installation et l'emplacement du bâtiment. D'autres facteurs qui peuvent influencer le coût de l'installation comprennent le type de système de montage utilisé, les mises à niveau du système électrique nécessaires pour connecter les panneaux solaires au bâtiment et les frais de permis ou d'inspection éventuels.

Puisque nous n'avons pas encore pu demander de devis directement à une entreprise, nous ne pouvons estimer que grossièrement les coûts de construction. Nous nous référons à des informations forfaitaires trouvées sur internet.

Selon les informations de la société française 6nergies, le coût de construction de l'installation (6nergies.fr, 2023) d'un toit solaire il faut compter un budget entre 14 000 et 15 000 € pour une installation de 9kWc

Solarwatt.de (Solarwatt.de, 2023) estime généralement que les coûts moyens pour l'installation d'un toit solaire s'élèvent à 2200 à 2800 €/kWc. Et Solaranlagen-portal.de (solaranlagen-portal.de, 2023) les estime à 1700 €/kWc pour une maison particulière. En revanche, Energieheld.de (Energieheld.de, 2023) estime le coût des grandes installations de plus de 500 kWc pour l'année 2022 à environ 900 - 1000 €/kWc. Donc le prix plus bas et de 900 €/kWc et le prix le plus élevé et de 2800 €/kWc et on obtient pour les frais d'installation une estimation de

$$1000 \text{ kWc} \cdot 900/2800 \text{ € / kWc} = 900\,000 / 2\,800\,000 \text{ €}$$

En résumé on pourrait dire que le coût de construction pour l'installation des panneaux solaires sur notre campus scolaire se trouve entre 1 000 000 € - 3 000 000 €. En se basant sur ces données, on peut probablement estimer un prix d'environ

**2 000 000 €**

en incluant le parking des enseignants. Cependant, un prix final clair ne peut être fixé qu'après avoir reçu des devis de quelques entreprises.

### Financer l'installation de panneaux solaire

Il existe plusieurs options pour financer l'installation de panneaux solaires sur un toit:

- Emprunt bancaire: On peut emprunter de l'argent auprès d'une banque pour payer l'installation. Il existe plusieurs types de prêts disponibles, y compris les prêts à taux fixe, les prêts à taux variable et les lignes de crédit.

- Programme de crédit d'impôt: De nombreux gouvernements offrent des crédits d'impôt pour les investissements en énergie renouvelable, y compris les panneaux solaires. Ce crédit d'impôt peut aider à réduire les coûts totaux de l'installation.
- Financement participatif (crowdfunding): Il existe des plates-formes en ligne qui permettent aux personnes intéressées par les énergies renouvelables de soutenir financièrement des projets, y compris l'installation de panneaux solaires.
- Contrat de location: Vous pouvez opter pour un contrat de location avec une entreprise de panneaux solaires, qui installe les panneaux sur votre toit en échange d'un paiement mensuel. Cela peut être une option intéressante si vous n'êtes pas en mesure de payer le coût total de l'installation upfront.
- Prêt à taux zéro: Certains gouvernements offrent des prêts à taux zéro pour les projets d'énergie renouvelable, y compris les panneaux solaires. Cela peut aider à réduire les coûts totaux de l'installation.

Il est important de considérer attentivement toutes les options de financement disponibles et de faire des comparaisons pour choisir celle qui convient le mieux à vos besoins et à votre budget. Il peut être utile de consulter un conseiller financier pour obtenir des conseils sur les options de financement les plus appropriées.

**Si l'installation des panneaux solaires était financée par un prêt bancaire, avec un montant de prêt de 2 000 000 €, sans autre aide financière, un taux d'intérêt de 3 % et une durée de remboursement de 20 ans, les mensualités s'élèveraient à 11 126 € (spuerkeess.lu, 2023). Cela représenterait une charge financière annuelle de 133 512 €. Avec des revenus attendus d'au moins 140 000 € par an, cela serait financièrement réalisable.**

#### *Aides financières/ primes/savoir à faire*

L'état soutient la production d'énergies renouvelables par des moyens de rémunérations. Les 3 moyens de rémunération :

1. Les tarifs d'injection - nous ne pouvons pas acquérir des tarifs d'injection car notre installation photovoltaïque est plus puissante que 500 kW.
2. Les primes de marché - Nous ne pouvons pas acquérir les primes de marché car elles sont que disponible pour (Soutien état: guichet-public.lu, 2023):
  - a. L'énergie éolienne et hydroélectrique ;
  - b. L'électricité produite à partir de biogaz, de gaz de stations d'épuration d'eaux usées et de biomasse solide et bois de rebut.
3. Les appels d'offres - Nous pouvons acquérir les appels d'offres. Explication :

Ces appels d'offres permettent au gouvernement de choisir la personne la plus à même de réaliser une prestation de travaux pour des panneaux solaires. Dans une demande d'offres il y a plusieurs lot a gagné. Des lots pour installer des panneaux solaires sur un

bâtiment, sur des terrains industriels et au-dessus de bassin d'eau ou pour des ombrières. L'état fait en générale 1 appel d'offres par année pour les panneaux solaire.

Si nous intéressons nous devons demander le cahier de charges ou sont précisé plus de détails. Exemple : (guichet-public.lu, 2023) (Soutien état: guichet-public.lu, 2023) (Aide à l'investissement en faveur de la protection de l'environnement guichet-public.lu, 2023)

Une autre option serait de bénéficier du soutien d'une grande entreprise énergétique telle qu'Enovos. Enovos soutient financièrement et en termes de savoir-faire l'installation de grandes installations photovoltaïques :

*« Enovos s'engage dans le photovoltaïque à plus grande échelle.*

Afin de faire progresser la transition énergétique encore plus rapidement, Enovos, avec l'aide de partenaires, s'est engagé ces dernières années dans divers projets de centrales photovoltaïques. Le principe ? Les partenaires mettent à disposition leurs installations tandis qu'Enovos fournit son expertise et le matériel. Parmi ces partenaires, on retrouve notamment RTL Group, Arthur Welter, Cactus, Panelux, Kichechef, POST Luxembourg, Luxtram, Goodyear, ou encore ArcelorMittal.

Depuis 2019, des centrales photovoltaïques d'une capacité totale de 13,9 MW ont ainsi vu le jour au Luxembourg. D'ici la fin de l'année, de nouvelles installations, d'une capacité totale de 19,5 MW, seront déployées à travers le pays.

Au total, ces différentes centrales contribuent à augmenter l'empreinte photovoltaïque du Luxembourg de plus de 10 % ! » (renewables.enovos.lu, 2023)

Primes pour les bornes :

- à voir : Clever Lueden

De plus, il est avantageux sur le plan financier d'utiliser la TVA réduite de 3 % sur l'achat et l'installation de panneaux solaires, qui a été introduite cette année (2023), même pour les bâtiments publics. (pfi.public.lu, 2023)

**En résumé, il existe différentes formes de financement avec des types de soutiens variés. En raison de la particularité de notre bâtiment en partenariat public-privé et en tant que bâtiment de l'État, nous ne pouvons malheureusement pas faire de déclaration claire sur le financement. On peut seulement remarquer que le projet semble financièrement possible et même judicieux, car il pourrait probablement encore générer un bénéfice financier.**

## État sur les bâtiments publics

En 2017 le député André Bauler s'adresse au ministre compétent dans sa question parlementaire pour savoir s'il est prévu de munir également d'autres lycées respectivement d'autres établissements publics de panneaux solaires afin d'avancer le passage aux énergies renouvelables.

Et il a obtenu la réponse de Monsieur François BAUSCH, Ministre du Développement durable et des Infrastructures à cette question parlementaire N°3414 du 30 octobre 2017 de Monsieur le Député André Bauler (archive.dp.lu, 2023):

« Jusqu'à ce jour, 8 lycées ont été équipés de panneaux solaires photovoltaïques avec les capacités suivantes :

Lycée	Puissance installée [kW]
Athénée de Luxembourg	65
Lycée des arts et métiers à Dommeldange	24
Lycée technique d'Ettelbruck	4
Lycée technique Mathias Adam à Lamadelaine	40
Lycée technique de Lallange	42
Lycée technique Mathias Adam - annexe Jenker à Differdange	28
Atert Lycée à Redange	1'336
Lycée technique pour professions de santé à Bascharage	17
Total	1'556

Il est prévu d'équiper le Lycée du nord à Wiltz avec des installations photovoltaïques. En ce qui concerne le Lycée technique d'Ettelbruck, la toiture du hall des sports sera équipée également de panneaux photovoltaïques ; pour ce qui est des autres bâtiments du Lycée, la faisabilité d'installer des énergies renouvelables sera analysée lors des études pour la rénovation.

Lycée	Puissance projetée [kW]
Lycée technique d'Ettelbruck - hall des sports/piscine	180
Lycée du nord à Wiltz	600 (installée ~ 950 kW)
Total	780

En date du 2 décembre 2016, j'ai ensemble avec Monsieur le Secrétaire d'Etat, Camille Gira présenté un projet d'installation de panneaux photovoltaïques sur quinze bâtiments publics ; outre les 2 bâtiments mentionnés déjà ci-dessus, les treize bâtiments étatiques suivants seront équipés:

- Ateliers centraux de l'Administration des ponts et chaussées à Bertrange,
- Bibliothèque nationale de Luxembourg – Kirchberg,
- Caserne Herrenberg - hall de stationnement, pavillon 48 à Diekirch,
- Dépôt de l'Administration des ponts et chaussées à Mersch,
- Ecole européenne à Luxembourg – Kirchberg,
- Fondation Kraïzbierg à Dudelange,
- Lycée Edward Steichen à Clervaux,
- Lycée Robert Schuman - hall sportif à Luxembourg,
- Lycée technique de Lallange,
- Lycée technique à Esch-sur-Alzette – site Raemerich,
- Lënster Lycée à Junglinster,
- Lycée technique agricole à Gilsdorf,
- Stade national d'athlétisme à Fetschenhof.

La puissance électrique relative à ces projets est estimée à environ 4 000 kW.

En plus des 15 projets présentés il y a un an, une vingtaine de bâtiments ont été identifiés, pour lesquels l'Administration des bâtiments publics analysera la faisabilité quant à des installations photovoltaïques ou d'autres énergies renouvelables.

La puissance électrique supplémentaire relative à ces projets de construction (dont 8 lycées, 8 bâtiments administratifs et 4 projets sanitaires-sociaux) est estimée sommairement à environ 3 000 kW.

A noter que pour chaque projet de construction et de rénovation, l'Administration des bâtiments publics analyse le potentiel d'installations génératrices d'énergies renouvelables. »

Cependant en mars 2022, les Pirates ont constaté à la Chambre que le développement de l'énergie solaire sur les toits des bâtiments publics progressait beaucoup trop lentement. Seuls 40 bâtiments publics sur 1500 avaient des panneaux solaires installés, ce qui correspond à seulement 4 % des bâtiments (goergen.lu, 2023). Selon l'administration des bâtiments publics, cela représente toutefois 14 % de la surface totale des toits aménageables. L'administration des bâtiments publics est bien disposée, mais en raison d'un manque de personnel, une avancée plus rapide de la construction n'est pas possible et autoriser l'installation de panneaux solaires par des acteurs privés n'est pas souhaitable, car cela entraînerait une nouvelle bureaucratie supplémentaire. L'expansion de l'énergie solaire sur les parkings relèverait alors du domaine de l'administration des ponts et chaussées (meco.lu, 2023).

## Promotion

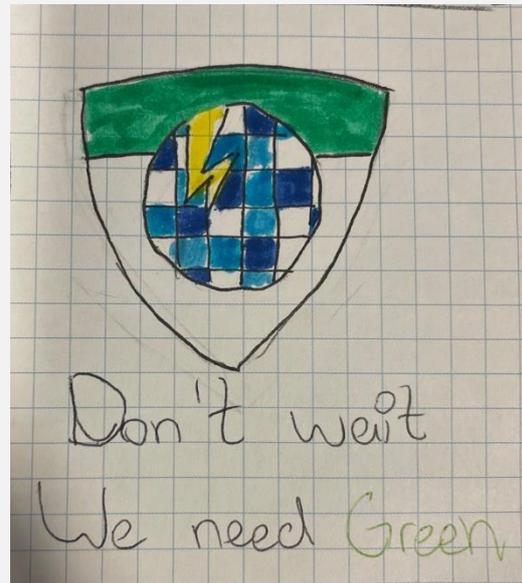
Das Ziel der Promotion Gruppe ist so viele Menschen wie möglich über unsres Projekt zu informieren. Unsere Zielgruppe ist vor allem die Schüler unserer Schule und unsere Direktion.

Als erstes haben wir uns Gedanken über den Slogan und as Logo gemacht.

Dies war unsere erste Idee:

Auf dem Foto sieht man einen Gemalten Wappen mit grün oben, dass unsere Schule repräsentieren soll. Im Kreis in der Mitte des Wappens sieht man Rechtecke in verschiedenen Blautönen sind die Solarpaneele. Der Blitz repräsentiert die Sonne, die wir Brauchen und die Elektrizität, die wir daraus gewinnen können. Unser erster Slogan

“Don’t wait we need Green” soll die Menschen ermutigen grüne Energie zu produzieren, zu nutzen und dass man so schnell wie möglich damit anfangen soll.



*Erster Entwurf*

Das Logo haben wir dann mit Adobe Illustrator in die Tat umgesetzt:



*Logo - erstellt mit Adobe Illustrator*

Das Logo ist wie auf dem Papier aufgebaut, doch wir haben den Slogan auf “We need Green to keep Earth clean” geändert. Das heißt, dass wir grüne Energie brauchen, um unseren Planeten sauber zu halten und den Klimawandel stoppen. Die Wörter “Green” und “Earth” haben wir in grün anstatt schwarz geschrieben, um mehr Aufmerksamkeit auf sie zu ziehen, da sie die wichtigsten Teile des Slogans sind.

Als wir mit dem Logo fertig waren fangen wir an Flyer, die wir per mail zu anderen senden können, mit Adobe Express zu erstellen.

Das erste Plakat:

Oben auf dem Flyer sieht man unser Slogan. In der grünen Blase steht, dass unser Projekt Solarpaneele auf unsere Schule zu installieren ist. In der blauen Blase steht, dass wir die Klasse 6c6 sind und, dass wir unsere Schule mit Solarpaneelen bedecken wollen, um grünen Strom zu Produzieren und unsere Schule damit versorgen. In den anderen Blasen sieht man ein Foto von Solarpaneelen, eine grüne Glühbirne, die Grünen Strom repräsentieren soll und ein verändertes Foto unserer Schule mit Solarpaneelen. Ganz unten ist noch unser Logo zu erkennen. (Drunter steht noch die Personen, die das Plakat gemacht haben, dass sie zur Klasse 6C6 gehören und das Projekt in welchem Rahmen dieses Plakat kreiert wurde.)



Der Flyer



Plakat

Im obersten Bild ist unsere Schule mit Solarpanelen zu erkennen, dieses Bild wurde von der Visulationsgruppe erstellt. Unten drunter steht unser Slogan und noch weiter unten steht, was unser Projekt bewirken soll. Dann ist einmal eine Glühbirne mit Pflanzen zu sehen, sie soll die grüne Energie zeigen. Rechts von diesem Bild ist ein Strommast zu sehen, welcher unsere Unabhängigkeit vom Stromnetz verbildlichen soll. Zu guter Letzt, ist ein Bild aus der Vogelperspektive unserer Schule zu sehen, ohne Solarpanelen zu erkennen, dies soll auf die kommende Veränderung hindeuten. Unter den Bildern rufen wir zur Hilfe der Schüler/Lehrkräfte/Direktionsmitglieder auf, um diese Zukunft zu ermöglichen. Unten im roten, könnte noch ein Link zu einer Webseite kommen, sollten wir uns für eine

entschieden. Ganz unten rechts, ist unser Logo zu erkennen, mehr dazu oben. (Darunter steht noch die Person, die das Plakat gemacht hat, dass sie zur Klasse 6C6 gehört und das Projekt in welchem Rahmen dieses Plakat kreiert wurde.)

# Theorie der Photovoltaik

## Inhaltsverzeichnis

### Funktionsweise der Photovoltaikanlage

#### Innere Aufbau und Verhalten

##### Atomaufbau (Schalenmodell)

- *Protonen (p):*
- *Neutronen (n):*
- *Elektronen (e<sup>-</sup>):*

#### Dotierung

- n - dotiertes Silizium
- p - dotiertes Silizium

#### Das Licht

### ***UNTERSCHIEDE POLYKRISTALLINE /MONOKRYSTALLINE***

## Akku/Speicher

Batteriespeicher

Wechselrichter

Wie eine Batterie/Akku funktioniert

## Literatur

## Funktionsweise der Photovoltaikanlage

Solarzellen sind in 3 Schichten eingeteilt. Eine n-dotierte Schicht und eine p-dotierte Schicht. Dies ist unten erklärt. Die 3. Schicht ist eine Grenzschicht aus Bor.

In der p-dotierten Schicht (Silizium) sind ja 4 Elektronen (unten erklärt). Bei der n-dotierten Schicht, Phosphor, sind es allerdings 5, da ist also eins zu viel. Denn oben wurde Phosphor zum Silizium gemischt. Dann wird aber unten noch Bor dazu gemischt, Bor hat nur 3 Elektronen, also fehlt dort ein Elektron, ein Loch. Später gehen dann die Elektronen von

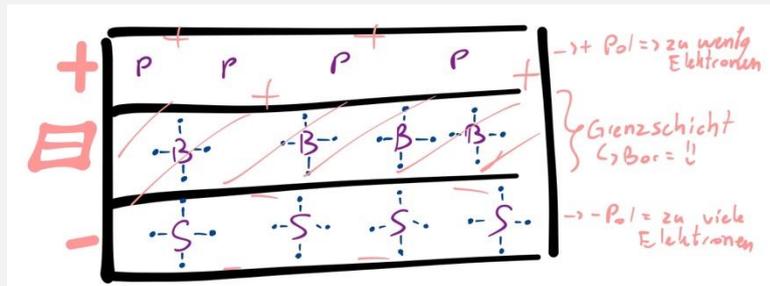


Abbildung 2 Solarzelle von innen

Phosphor zum Bor. Das geht dann so lange bis A) keine freie Elektronen mehr beim Phosphor sind oder B) bis keine Löcher mehr beim Bor übrig sind. Das hat allerdings die Konsequenz, dass oben zu wenige Elektronen sind, da wo die n-dotierte Schicht ist. Unten bei der p-dotierten Schicht entsteht ein Minuspol, da dort zu viele Elektronen sind. In der Mitte, der Grenzschicht, wo sich jetzt die Boratome befinden, ist alles gut, da es weder zu wenig noch zu viele Elektronen gibt.

Kommt Sonnenlicht (unten erklärt) dazu, werden Elektronen vom Bor gelöst, sie sind dann wieder frei. Da oben beim Pluspol Elektronen fehlen, gehen sie dorthin, um einen Gleichstand zu erzeugen.

Oben und unten wird dann noch eine Schicht von leitendem Metall gemacht, welche mit einem Draht verbunden werden. An diesen Draht wird dann noch eine Glühbirne angeschlossen.

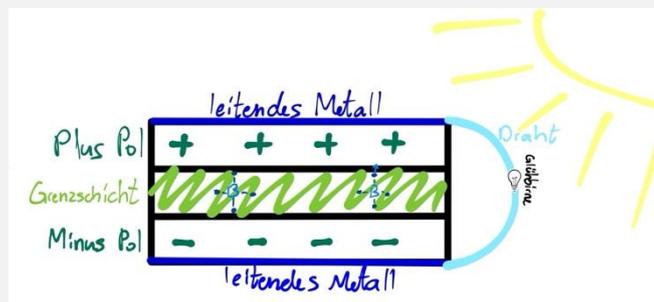


Abbildung 1 Solarzelle von innen, (einfach dargestellt), selbst erstellt auf GoodNotes

Oben und unten wird dann noch eine Schicht von leitendem Metall gemacht, welche mit einem Draht verbunden werden. An diesen Draht wird dann noch eine Glühbirne angeschlossen.

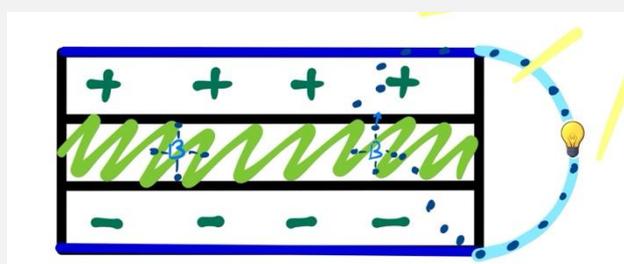
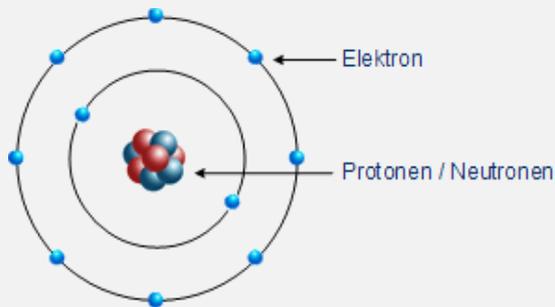


Abbildung 3 Elektronenfluss von Grenzschicht zum Pluspol, weiter zum Draht und der Glühbirne und zum Minuspol, wieder zurück zur Grenzschicht, selbst erstellt GoodNotes

Kommen die freien Elektronen, welche sich vom Bor gelöst haben, dann oben an, werden sie von dem leitenden Metall angezogen und so gezwungen durch den Draht zu wandern. So gehen sie auch automatisch durch die Glühbirne, was dafür sorgt, dass diese Elektrizität hat und leuchtet. Unten angekommen gehen die Elektronen wieder nach oben und das ganze fängt

wieder von vorne an, solange wie die Sonne scheint. In dem Draht entsteht also ein Elektronenfluss, sprich ein Stromkreis.

## Atomaufbau (Schalenmodell)



Atomaufbau nach dem Schalenmodell

Das Schalenmodell ist eines von mehreren Modellen, um den Atomaufbau zu erklären und basiert auf dem Bohrschen Atommodell. Die zwei Hauptpunkte, die es zu beachten gilt, sind:

- die Elektronen bewegen sich in sogenannten Schalen um den Kern
- im Atomkern befinden sich die Protonen und Neutronen

### Protonen (p):

Ein Proton ist Bestandteil eines Atoms, genauer gesagt des Atomkerns. Es gilt als stabiles subatomares\* Teilchen und ist positiv geladen.

### Neutronen (n):

Zusammen mit den Protonen bilden die Neutronen den Bestandteil (fast) aller Atomkerne. Sie gelten ebenfalls als subatomare Teilchen, sind jedoch neutral.

### Elektronen (e<sup>-</sup>):

Die Elektronen bilden bei Atomen die Elektronenhülle. Je nach Atom variiert die Anzahl der Orbitale (auch Schalen genannt), die den Aufenthaltsort der Elektronen beschreiben, weil sich auf jeder einzelnen nur eine bestimmte Anzahl an solchen befinden darf. Diejenigen, die sich an den äußeren Orbitalen befinden, werden Außenelektronen oder Valenzelektronen genannt. Diese sind es auch, die sich an den Bindungen zwischen Elektronen beteiligen. Die 7 Schalen befinden sich unterschiedlich weit weg vom Kern. Die erste ist die K Schale (K steht für Kern) und sie bietet Platz für maximal 2 Elektronen. Wenn sie voll ist, werden die Elektronen weiter auf die L Schale verteilt, welche Platz für bis zu 8 Elektronen hat. Das geht dann immer alphabetisch so weiter, es folgen: die M-Schale (18 Elektronen), die N-Schale (32 Elektronen), die O-Schale (50 Elektronen), die P-Schale (72 Elektronen) und die Q-Schale (98 Elektronen). Die Formel zur Berechnung der Anzahl an Elektronen in einer Schale lautet:

$$e = 2 \cdot n^2$$

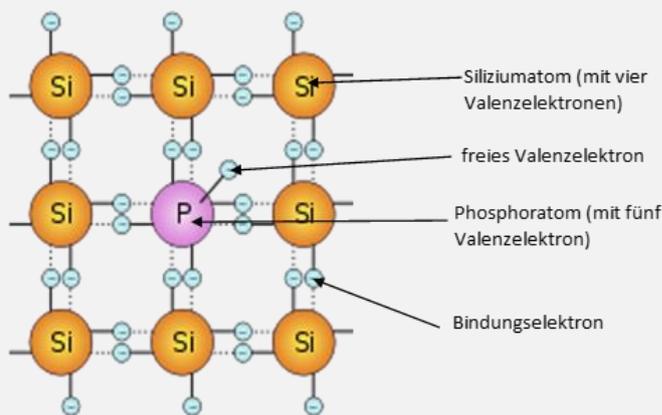
e steht für die Anzahl an Elektronen und n steht für die Nummer der Schale.

\*subatomar = kleiner als ein Atom, also die Elementarteilchen und Atomkerne betreffend

## Dotierung

Dotierung ist das Einbringen von Fremdatomen in ein Material. Auch eine geringe Fremdatomdichte kann die elektrische Leitfähigkeit des Materials deutlich verändern.

### n - dotiertes Silizium

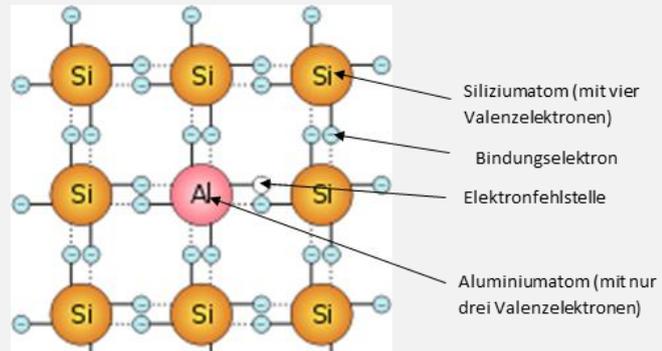


*n - dotiertes Siliziumgitter*

Weil das Phosphoratom fünf Valenzelektronen hat (im Gegensatz zu Silizium, was nur vier Valenzelektronen hat), kann ein Valenzelektron des Siliziums keine Bindung zum Nachbaratom bilden. Dieses freie Elektron erhöht, wie beim Kupfer (wo jedes Atom ein freies Valenzelektron hat) die Leitfähigkeit des Materials. Bzw. macht es negativer.

### p - dotiertes Silizium

In einem p – dotierten Siliziumkristall fehlt dagegen durch einbringen von Aluminiumatomen ein Valenzelektron. In einer Photovoltaikanlage existiert sowohl eine n-dotierte als auch eine p - dotierte Siliziumschicht.

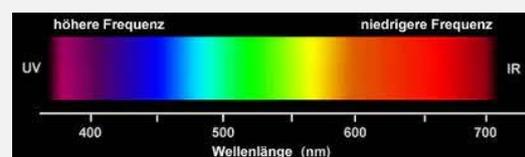


*p - dotiertes Siliziumgitter*

## Das Licht

Licht ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung. Eigentlich meint man damit nur die für das menschliche Auge sichtbaren Anteile des gesamten elektromagnetischen Spektrums, welche im Wellenlängenbereich von 380-780 Nanometern liegen. Licht ist

sowohl als Welle als auch als Teilchen (Photonen genannt) zu verstehen und es hat die höchste uns bekannte Geschwindigkeit. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt nämlich (nach Leon Foucault, 1850)  $2,98 \times 10^8 \frac{m}{s}$ , das entspricht etwa  $300\,000 \frac{km}{s}$ .



*Spektrum des sichtbaren Lichts*

Von der Lichtquelle ausgesendetes Licht breitet sich immer in gradlinigen Wellen aus, die sich nur verändern, wenn sie von einem anderen Objekt abgelenkt werden. Objekte, die nicht selbst leuchten, sind daher also nur für uns sichtbar, wenn sie die Strahlung reflektieren (angeleuchtet werden). Die Energie des Lichtes variiert je nach Wellenlänge: kurzwellige Strahlen (beispielsweise UV-Strahlung) ist sehr energiereich, längere Wellenlängen hat eher weniger Energie. Das Farbspektrum reicht von Violett (kurzwellig, 400 Nanometer) über Blau, Grün, gelb, orange bis zu rot (Langwellig, 700 Nanometer).

## Unterschiede Polykristalline /Monokristalline

Der erste Unterschied zwischen Polykristallin und Monokristallin ist, dass Polykristalline aus mehreren Siliziumfragmenten bestehen, während Monokristallin nur aus einem Siliziumkristall besteht. Beide haben eine Lebensdauer von ungefähr 15-30 Jahren, bevor sie 80% Prozent weniger Energie als am Anfang produzieren. Monokristalline brauchen bei der Herstellung jedoch 3-mal so viel Material wie Polykristalline, dafür sind sie dann aber auch effektiver. Der Wirkungsgrad bei Polykristallinen Solarzellen liegt bei 14-20%, bei Monokristallinen liegt er hingegen bei 20-24%. Das liegt daran, dass Monokristalline aus nur einem Kristall bestehen und sich dadurch ihre spektrale Antwort erhöht.

## Akku/Speicher

### Batterie Speicher

Ein Batteriespeicher wäre in unserem Fall sehr nützlich. Denn so kann sogar, wenn es draußen bewölkt, regenreich oder die Sonne nicht genügend scheint, weiterhin den selbsterzeugten und umweltfreundlichen Strom benutzen. Wenn man zu einem bestimmten Moment zu viel Energie von den Solarpanelen gewonnen hat, wird diese ins öffentliche Netzwerk geschickt oder in den Batterien gespeichert werden. Dies verhindert, dass Energie verschwendet wird.

In den Sommerferien zum Beispiel, braucht sie automatisch weniger Strom als in der Schulzeit. Für so einen großen Zeitraum macht es mehr Sinn den gewonnenen Strom ins Netzwerk zu speisen. Die Batterie Speicher dienen eher dazu, um den Strom über Nacht



Abbildung 4 Ein Beispiel für eine Batterie

oder zwischen 2 kurzen Perioden zu speichern. Im Sommer braucht sie weniger Strom, da die Schule weder geheizt wird noch so viel belichtet wird, als im Winter. Sollte der Bedarf den Strom sofort zu benutzen nicht bestehen oder sollten die Speicher bereits voll sein

kann man den übrigen in das bereits erwähnte öffentliche Stromnetzwerk schicken und eine Einspeisevergütung von 15,52ct/kWh (Stand 2021).

Es gibt 2 verschiedene Arten von Energiespeichern, den Bleispeicher welcher früher benutzt wurde, heute werden aber überwiegend Lithium-Batterien benutzt, welche aus Li-NMC (Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt) bestehen. Sie sind kleiner, leichter und haben eine höhere Energiedichte als ihr Vorgänger. Jedoch hat dieser Speicher einen Nachteil, denn sobald der Separator einen Fehler hat, kann es zu Mikrokurzschlüssen kommen, die im schlimmsten Fall zu Feuer führen können.

Bei den Größen und Kapazitäten hängt es von dem Strombedarf und der Größe der Solaranlage ab. Für unsere Schule bräuchten wir Batterien, mit der insgesamten Speicherkraft von 2500 kWh, die Kosten für diese Anzahl an Batterien, würde 2.500.000 € betragen. Dies, nur für Batterien, ist viel zu teuer, man müsste also kleinere/wenigere Batterien benutzen. Das Leben eines solchen Speicher beträgt normalerweise 5-15 Jahren.

Li-NMC Speicher haben eine Batteriemangementsystem welches dafür sorgt, dass keine Überhitzung entsteht, sprich dass alle Batteriezellen gleich belastet werden, sollte es allerdings eine Batteriezelle geben, die zu überhitzen droht, wird diese ausgeschaltet und ihre Energie auf die andern gleichmäßig verteilt.

Dann gibt es noch ein Energiemangementsystem, dieses System ist für die Verteilung und Aufteilung der Energie zuständig. Der Privatverbrauch hat für es oberste Priorität und

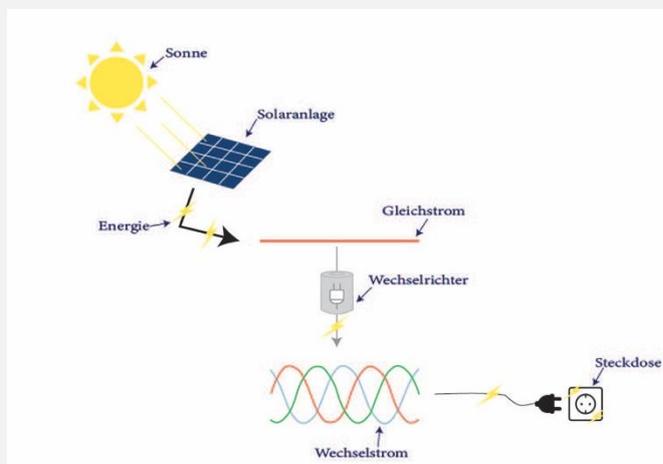


Abbildung 5 Weg des Stromes, selbst erstellt

sollte irgendwo ein sofortiger Bedarf bestehen wird die gerade erzeugte Energie oder die gespeicherte benutzt, um diesen Bedarf zu stillen. Sollte zu viel Strom vorhanden sein, als dass man ihn direkt benutzen kann, wird dieser in den Batterien gespeichert. Wenn die Batterie dann voll ist, wird der Strom ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Dazu stellt es sicher, dass der Akku nie überladen oder vollgeladen ist, da dies die

Lebenszeit verkürzt. Verschiedene dieser Systeme ziehen sogar die Wettervorraussagung mit ein in ihre Entscheidungen und Taten.

Das Dritte ist der Batteriewechsler (unten erklärt), seine Aufgabe ist in der obigen Abbildung gezeigt.

Er wandelt die gewonnene Energie, die sich zu Beginn noch in Form von Gleichstrom befindet in Wechselstrom um, welcher aus unseren Steckdosen kommt.

**Lexikon:**

Einspeisevergütung = wenn man Geld vom Staat bekommt, um den Strom in das Netzwerk zu leiten\*

Energiedichte = In diesem Fall beschreibt die Energiedichte, wie viel Energie pro Volumen aus einer Batterie entnommen werden kann

Kapazitäten = man könnte es mit dem Inhalt eines Tankes oder einer Füllmenge vergleichen, nur dass hier die Batterie der Tank und die Kapazität die Menge der elektrischen Ladung die in den Tank (Batterie) passt

**Wie eine Batterie/Akku funktioniert**

Es gibt unzählige verschiedene Varianten, mit unterschiedlichen Größen, Leitungen und Kapazitäten, aber die Grundfunktion einer Batterie/Akku ist bei den meisten gleich. Die sie nutzen das Prinzip der galvanischen Zellen. Es ist eine Mischung von chemisch-physikalischen Vorgänge, die dazu führen, dass Strom in die galvanischen Zellen fließt.

Fangen wir bei den Eigenschaften von Metall an, es gibt einen Unterschied zwischen edel und unedel Metall. Einige Metalle geben kleine elektrische Teilchen ab, welche negativ geladen sind (Elektronen). Wie unedel Metalle (z.B. Zink), sie geben viele Elektronen ab, haben aber zu wenig Protonen (positiv geladenen Teilchen). Edelmetalle (z.B. Kupfer) auf der anderen Hand nehmen viele Elektronen auf und geben wenige/fast keine ab. Sie haben zu wenig Elektronen und zu viele Protonen, das ist der Grund warum sie so viele Elektronen aufnehmen, um ins Gleichgewicht zu kommen, da dies eine stabil Form ist, die jeder möchte.

Jede Batterie hat einen Pluspol (z.B. Kupfer) und einen Minuspol (z.B. Zink), die bestehen aus Metall. Dieses besteht wiederum aus Atomen (Atome bestehen aus einem Atomkern, der sich aus Protonen und Neutronen zusammensetzt und einer Atomhülle, welche Elektronen enthält) Dieses Atom ist normalerweise elektrisch neutral geladen, sprich, gleich viele Elektronen und Protonen. Ionen, sind Atome mit einer ungleichen Anzahl von Elektronen und Protonen. Wenn es mehr Protonen als Elektronen sind, ist das Ion positiv geladen, wenn es mehr Elektronen als Protonen enthält, ist es ein negativ geladenes Ion.

Man kann das Verhalten der Elektronen zum Beispiel mit einer speziellen Säure beeinflussen. (Bei Batterien ist es eine Elektrolyt-Flüssigkeit.) Die Elektronen schwimmen dann in dieser Flüssigkeit, welche Ionen enthält.

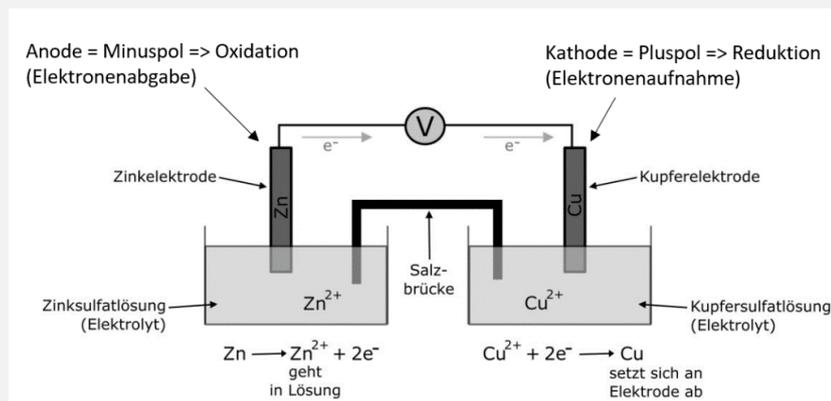
Man könnte es sich so vorstellen; es gibt 2 Gefäße, eins mit dem Minuspol (unedles Metall) welches negativ geladene Elektronen abgibt und einem Pluspol (edles Metall) der diese Elektronen aufnimmt. Beide Behälter sind mit einem Draht verbunden, weswegen die Elektronen sich in Bewegung setzten. So entsteht ein Elektronenfluss von Minuspol (Anode) und Pluspol (Kathode).

Also: Der Minuspol (Anode) gibt uns negative Elektronen, diese werden vom Pluspol (Kathode) übernommen, so entsteht Strom. Je größer der Elektrodenfluss ist, umso höher ist die Stromleistung der Batterie.

Eine Batterie ist eine Zusammenschaltung von galvanischen Zellen (kleinste Einheit von Batterien). Es ist elektrochemischer Stromspeicher das ist ein Stromspeicher der chemische Elektrizität speichert (chemische Elektrizität ist die Elektrizität, die schon da gewesen ist) elektrische Elektrizität (Das ist die die umgewandelt wurden ist). Wenn man ihn entlädt (Redoxreaktion), wird die chemische Energie in elektrische Energie gewandelt (->Bei einer

Taschenlampe zum Beispiel in Lichtelektrizität). Es gibt Batterien, welche man nur einmal entladen kann, es gibt aber auch Batterien welche man mehrfach ent- und beladen kann. Das nennt man dann einen Akku. Einen Akku wäre auch das, was wir für unser Solarpanelen Projekt benutzen würden, da man die Elektrizität von den Solarpanelen speichern würde, diese später benutzen würde und dann wieder von vorne anfangen würde.

Bei einer galvanischen Zelle sind in einem Behälter, der Anode, eine Zinkelektrode (Zn) und eine Zinksulfat Lösung ( $Zn^{2+}$ ). In dem anderen, der Kathode, gibt es eine Kupferelektrode (Cu) und Kupfersulfatlösung ( $Cu^{2+}$ ). Vom Zink,



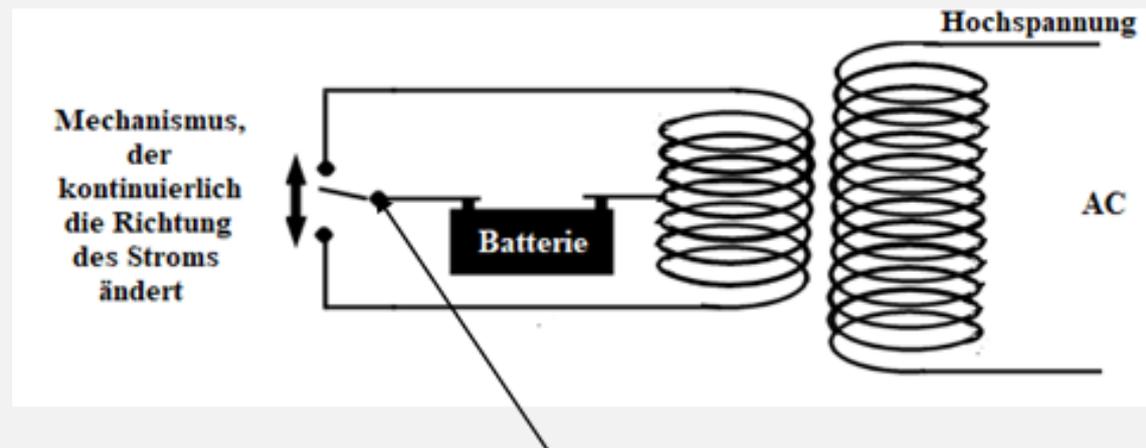
Schematische Darstellung eines Akkus

welches wie bereits erwähnt ein unedles Metall ist, (also gibt es Elektronen ab) wandern die Elektronen über die Elektronenbrücke zum Kupferbehälter. Da Kupfer ein edles Metall ist, (zu wenig Elektronen) nimmt es all die Elektronen auf. Mit der Zeit laden sich die Zinkhalbzelle immer positiver (Elektronenmangel) und die Kupferhalbzelle immer negativer (Elektronenüberschuss) auf. Um dem entgegenzuwirken, findet ein Ladungsausgleich über die Salzbrücke statt. Nach einer gewissen Zeit sind die Elektronen erschöpft und wandern nicht mehr, dann ist die Batterie leer.

Da man einen Akku wiederaufladen kann, lässt sich dieser Entladevorgang oft wiederholen.

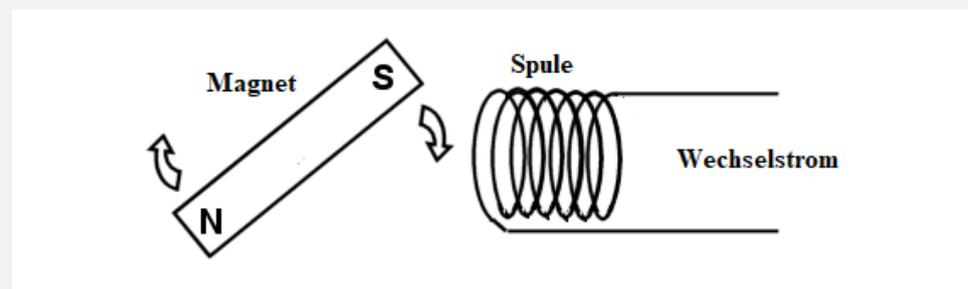
## Wechselrichter

Der Wechselrichter (auch als Inverter bezeichnet) wandelt den von der Photovoltaikanlage produzierten Gleichstrom in Wechselstrom um. Im Gegensatz zu Gleichstrom, dessen Richtung, also die Bewegungsrichtung der Elektronen immer gleichbleibt, ändert sich die Richtung (also die Polung) von Wechselstrom in regelmäßigen Abständen. Wechselrichter verfügen meistens über einen Transformator.



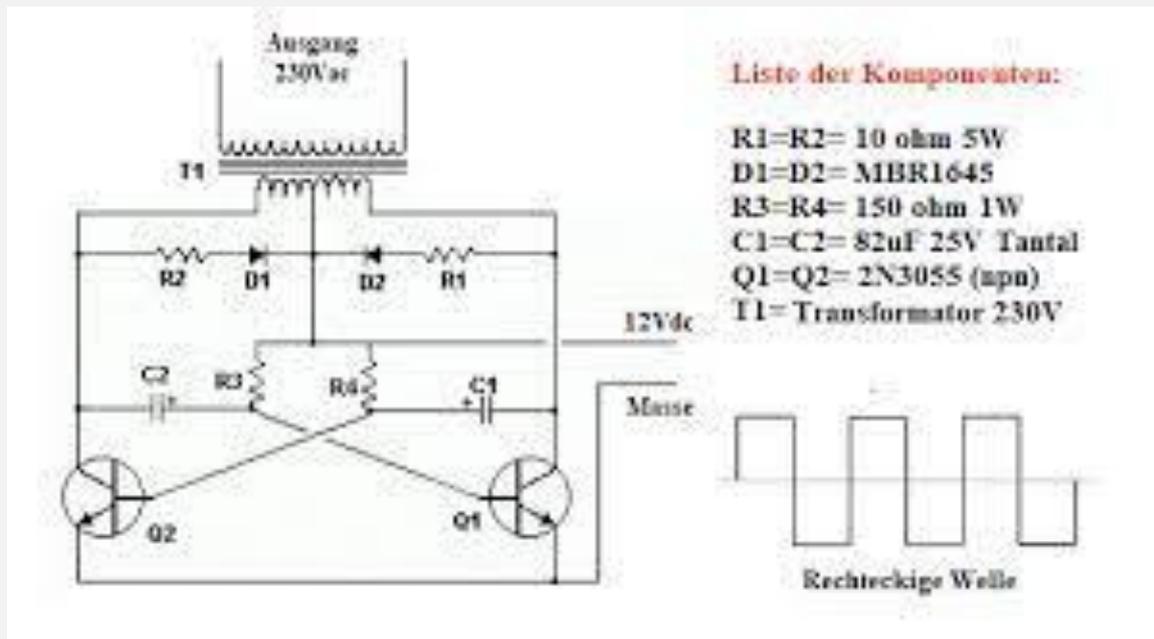
*Beispiel eines Manuel betriebenen Wechselrichters*

Wenn bei diesem sehr einfachen Transformator jemand den mit einem Pfeil markierten Schalter kontinuierlich und schnell umlegen würde, könnte man damit den Gleichstrom der Batterie in Wechselstrom umwandeln. Durch das Umlegen des Schalters ändert sich das Magnetfeld der ersten Drahtspule.



*Vereinfachte Darstellung einer Lichtmaschine*

Im Gegensatz zum Transformator ändert sich bei dieser einfachen Lichtmaschine das Magnetfeld durch einen sich drehenden Magneten. Eine Lichtmaschine ist im Prinzip die Umgekehrte Version eines Elektromotors.



Schaltplan eines Transformators mit rechteckiger Welle

Das ist der Schaltplan eines von sich aus funktionierenden Wechselrichters. Dies ist trotzdem noch ein sehr einfacher Wechselrichter, außerdem wandelt er Gleichstrom in Wechselstrom mit Rechteckiger Welle um. Um z.B. Haushaltsgeräte an den Solarstrom anschließen zu können bräuchte man sinusförmigen Wechselstrom.

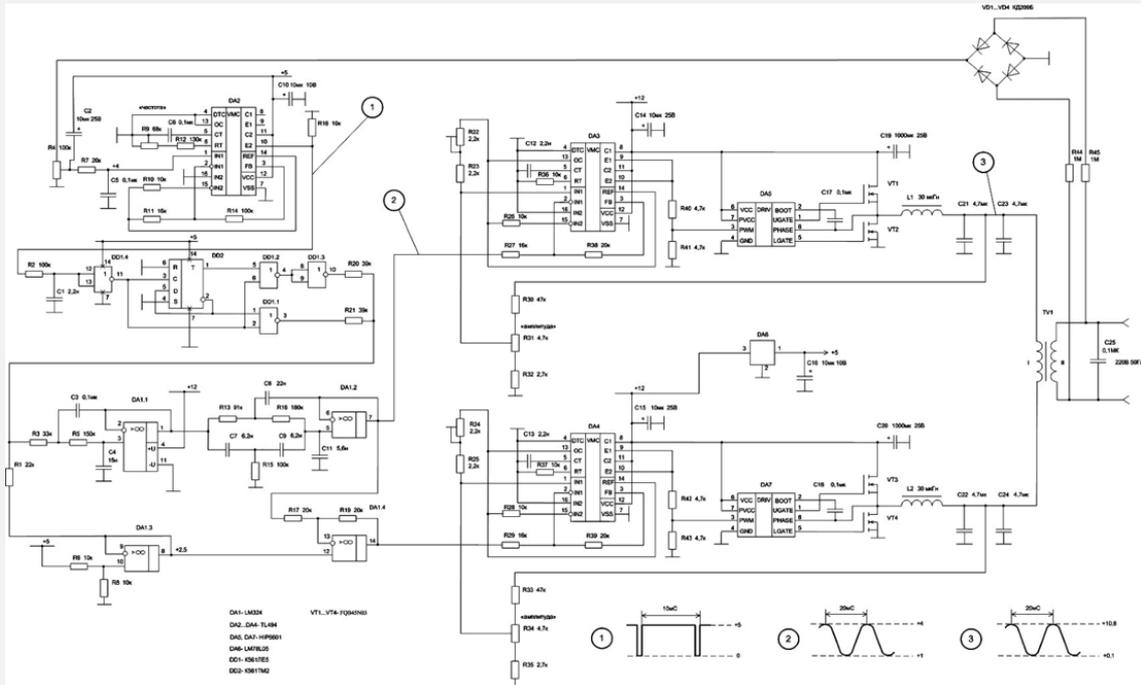
Erklärung der Bauteile auf dem Schaltplan:

Q1 und Q2 sind Transistoren. Sehr stark vereinfacht ausgedrückt ist ein Transistor ein Schalter, der nicht von einem Menschen, sondern von einem andern Stromfluss betätigt wird. Deswegen sind Transistoren wichtige Bauteile eines Computers. Transistoren können ebenfalls den Strom verstärken.

D1 und D2 sind Dioden. Eine Diode besteht aus einer Anode und einer Kathode. Elektrischer Strom kann eine Diode nur in eine Richtung passieren.

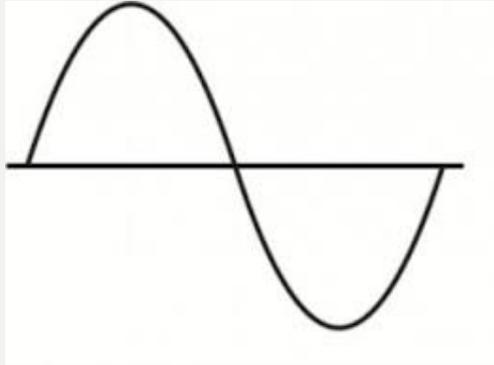
R1, R2, R3 und R4 sind Widerstände. Widerstände erhöhen die benötigte elektrische Spannung. Sie "erschweren" den Elektronen sozusagen ihren Weg vom Minus- zum Pluspol. Die "Stärke" eines Widerstandes wird in der Einheit Ohm ( $\Omega$ ) angegeben.

C1 und C2 sind Kondensatoren. Kondensatoren können elektrische Ladung statisch speichern. Die Speicherkapazität eines Kondensators wird in der Einheit Farad (F) angegeben.



Schaltplan eines (nicht Professionellen) Sinuswechselrichters

Das ist der Schaltplan eines (wahrscheinlich nicht reinen) Sinus Wechselrichters. Es ist leider nur ein experimenteller Plan aus dem Internet. Firmen würden ihre Schaltpläne nämlich nicht einfach im Internet veröffentlichen.



Reine Sinuswellenform

## Quellen Theorie der Photovoltaik:

<https://studyflix.de/chemie/schalenmodell-1877>

<https://www.wohnlicht.com/magazin/lichtwissen/hintergrundwissen-was-ist-licht-und-woraus-besteht-es/#:~:text=Was%20ist%20Licht%20%E2%80%93%20einfach%20erkl%C3%A4rt,abgelenkt%20C%20gestreut%20oder%20gebrochen%20werden.>

<https://www.net4energy.com/de-lu/photovoltaikanlage#photovoltaikanlagen-netzeinspeisung-oder-eigenverbrauch>

[https://de.globalpetrolprices.com/Luxembourg/electricity\\_prices/](https://de.globalpetrolprices.com/Luxembourg/electricity_prices/)

<https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/energiedichte/>

<https://www.giga.de/ratgeber/tipps/wie-funktioniert-eine-batterie-das-prinzip-der-galvanischen-zellen/>

<https://www.studyhelp.de/online-lernen/chemie/galvanische-elemente/>

## Quellen von Bildern

<https://www.besi-solar.de/energiespeicher.html>

Weg des Stromes: selbst erstellt, Adobe Illustrator

<https://biorender.com/icon/graphs-and-symbols/symbols-and-signs/solar-panel-with-sun/>

<https://stock.adobe.com/de/search/images?k=stecker>

<https://pixabay.com/de/images/search/wechselrichter/>

<https://www.studyhelp.de/online-lernen/chemie/galvanische-elemente/>

# Annexe

Email :	Réponse :
<p>(Pour LTPES) Bonjour,</p> <p>Nous sommes élevés du lycée Ermesinde (de la classe 6C6). En cours de Science nous avons un projet en cours et nous avons une question à vous poser.</p> <p>Combien d'électricité votre école utilise (site complet de votre côté) Merci pour votre réponse</p> <p>Taylah Schildbach et Manon Sabia</p>	<p><i>Encore rien</i></p>
<p>(LEM) Bonjour,</p> <p>Nous sommes élevés de la classe 6C6. En cours de Science nous avons un projet en cours et nous avons une question à vous poser.</p> <p>Combien d'électricité votre école utilise (site complet de notre côté)</p> <p>Merci pour votre réponse</p> <p>Taylah Schildbach et Manon Sabia</p>	<p><i>Encore rien</i></p>
<p>(Global Facilities) Bonjour,</p> <p>Nous sommes élevés du lycée Ermesinde (de la classe 6C6). En cours des Science nous avons un projet en cours et nous avons une question à vous poser.</p> <p>Combien d'électricité l'école utilise par année ? (tous les bâtiments du site LTPES et LEM)</p> <p>Merci pour votre réponse Taylah Schildbach et Manon Sabia</p>	<p><i>Bonjour à tous ,</i></p> <p><i>La consommation d'électricité annuelle du Campus s'élève à environ 500.000 kWh.</i></p> <p><i>Bonne fin de journée et bonne continuation pour votre projet.</i></p>

## Courriel au promoteur :

Propriétaires du lycée (Gouvernement.lu, 2023): GTK S.à r.l. (promoteurs privés/ personnes morales de droit privé/ sociétés privées) le gouvernement loue le bâtiment juste qu'à 2037. En 2037 le Gouvernement sera propriétaire du Lycée.  
La banque de la GTK S.à r.l. : B.C.E.E (spuerkess)

*Bonjour madame, monsieur,*

*Nous sommes la classe 6c6 du lycée Ermesinde Mersch. Actuellement nous travaillons sur un projet en science, qui concerne l'installation de panneaux solaires sur le terrain de notre école. Plus précisément le toit et l'espace parking.*

*C'est pour cela que nous vous contactons, car vous, promoteur de ce bâtiment, vous pourriez éventuellement estimer le prix que coûterai l'installation de panneaux photovoltaïques, ça nous aiderait énormément pour notre projet.*

### Les dimensions :

*La surface sur laquelle on pourrait en construire (surface libre et utilisable) serait en total de 5000 – 7000 m<sup>2</sup> d'après nos recherches et calculs. Voici notre campus (toit de notre école photo de gauche et le parking photo de droite) :*



*C'est à dire de toit plat divisé sur plusieurs bâtiments il y a 6200 m<sup>2</sup>.*

*Et pour au-dessus du parking il y a 800 m<sup>2</sup> : dans notre projet nous avons eu l'idée de recouvrir les places de parking avec des panneaux photovoltaïques pour pouvoir produire encore plus d'électricité. Comme, par exemple, sur les images ci-dessous :*



*Si vous avez des questions supplémentaires n'hésitez pas à nous contacter. Le chiffre ne doit pas être exactement précis une estimation est suffisante.*

*En espérant recevoir une réponse de votre part, nous vous remercions pour votre temps.*

*Meilleures salutations*

*Magnus Penny & Elodie Jacques de la classe 6c6.*

## **Courriel à l'Administration des Bâtiments publics, resp. aux Mme Welfring et M Turmes**

Objet : demande d'informations sur des panneaux solaires installés sur les bâtiments publics

Madame, Monsieur,

Notre classe 6c6 du Lycée Ermesinde Mersch est en train de faire un projet pour réfléchir sur la possibilité de mettre des panneaux solaires sur les toitures de tout l'établissement.

Par la présente, notre classe scolaire est intéressée à recevoir des informations à propos des panneaux solaires sur les bâtiments publics à Luxembourg-Ville.

Nous vous serions reconnaissants de répondre aux questions suivantes :

- Combien de bâtiments publics à Luxembourg-Ville ont des panneaux solaires ?
- Pouvez-vous nous indiquer des informations supplémentaire (**encore à clarifier**) sur ces installations ?

Merci d'avance pour toutes informations !

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, nos salutations les plus respectueuses.

Classe 6c6 Lycée Ermesinde Mersch.

Cordialement, la classe 6C6 du LEM

On voudrait vous adresser parce que

Classe 6c6 du Lycée Ermesinde Mersch

45, rue de la Gare

L-7590 Mersch

Luxembourg, le 24 janvier 2023

**Courriel aux Lycées divers :**

Classe 6c6 du Lycée Ermesinde Mersch  
2023  
45, rue de la Gare  
L-7590 Mersch

Luxembourg, le 29 janvier

Lycée Mathias Adam  
A l'attention du secrétariat  
Avenue De l'Europe  
L-4802 Lamadeleine

Objet : demande d'informations sur des panneaux solaires

Madame, Monsieur,

Notre classe 6c6 du Lycée Ermesinde Mersch est en train de faire un projet pour réfléchir sur la possibilité de mettre des panneaux solaires sur le toit de tout l'établissement.

Par la présente, notre classe scolaire est intéressée à recevoir des informations sur vos panneaux solaires que vous avez installé dans votre école.

Nous vous serions reconnaissants de répondre aux questions suivantes :

- Comment avez-vous financé les panneaux solaires ?
- Combien d'énergie obtenez-vous par an ?
- Avez-vous bénéficié d'une prime d'aide à la réalisation ?
- Quel a été le prix global de l'installation ?
- Combien de mètres carré vos panneaux solaires ont-ils ?

Merci d'avance pour toutes informations sur votre installation.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, nos salutations les plus respectueuses.

Classe 6c6 du Lycée Ermesinde Mersch  
45, rue de la Gare  
L-7590 Mersch

Luxembourg, le 29 janvier 2023

## Sources

- 6nergies.fr.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://6nergies.fr/blog/panneau-solaire-toit-plat/>
- ACL.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://www.acl.lu/de-de/tests-conseils/conseils/acl-mobility-loft/votre-carte-enodrive>
- Aide à l'investissement en faveur de la protection de l'environnement guichet-public.lu.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://guichet.public.lu/fr/entreprises/financement-aides/aides-environnement/industrie-services/aide-protec-environnement.html>
- archive.dp.lu.* (2023, 2 17). Récupéré sur <https://archive.dp.lu/fr/article/des-panneaux-solaires-sur-les-b%C3%A2timents-publics>
- Energieheld.de.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://www.energieheld.de/solaranlage/photovoltaik/kosten>
- energuide.be.* (2023, 2 2). Récupéré sur [https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-que-le-kilowatt-crete-kwc/1409/#:~:text=Le%20watt%2Dcr%C3%AAt%20\(Wc\),temp%C3%A9rature%20et%20d'ensoleillement%20standard.](https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-que-le-kilowatt-crete-kwc/1409/#:~:text=Le%20watt%2Dcr%C3%AAt%20(Wc),temp%C3%A9rature%20et%20d'ensoleillement%20standard.)
- Géoportail.lu.* (2023, 2 2). Récupéré sur [https://map.geoportail.lu/theme/main?lang=fr&bgLayer=orthogr\\_2013\\_global&version=3&zoom=18&X=680397&Y=6404193&rotation=0&layers=152&opacities=1](https://map.geoportail.lu/theme/main?lang=fr&bgLayer=orthogr_2013_global&version=3&zoom=18&X=680397&Y=6404193&rotation=0&layers=152&opacities=1)
- goergen.lu.* (2023, 2 17). Récupéré sur <https://goergen.lu/installer-plus-de-panneaux-solaires-sur-les-batiments-publics/>
- Gouvernement.lu.* (2023, 2 2). Récupéré sur <https://gouvernement.lu/dam-assets/fr/actualites/articles/2012/02-fevrier/03-wiseler/dossier.pdf>
- guichet-public.lu.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://guichet.public.lu/dam-assets/catalogue-pdf/energie/appe-offre/apercu-ao-pv5.pdf>
- Klima-Agence.lu.* (2023, 2 2). Récupéré sur <https://www.klima-agence.lu/fr/les-aides-pour-mon-projet/programmes-daides-pour-lhabitat-et-la-mobilite-durable>
- meco.lu.* (2023, 2 17). Récupéré sur <https://www.meco.lu/fr/blog/documentcenter/solaranlagen-auf-oeffentlichen-gebaeuden-austausch-mit-der-verwaltung-fuer-oeffentliche-bauten/>
- Meteolux.lu.* (2023, 2 2). Récupéré sur [https://www.meteolux.lu/de/aktuelles/2022-das-zweitwarmste-jahr-seit-1947/?lang=de#:~:text=2234%2C1%20Sonnenstunden%20wurden%20im,1802%2C9%20Stunden\)%20liegt.](https://www.meteolux.lu/de/aktuelles/2022-das-zweitwarmste-jahr-seit-1947/?lang=de#:~:text=2234%2C1%20Sonnenstunden%20wurden%20im,1802%2C9%20Stunden)%20liegt.)
- OpenAI.com.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://openai.com/blog/chatgpt/>
- Oxfam.de.* (2023, 2 2). Récupéré sur [https://www.oxfam.de/system/files/infoblatt\\_kohlekraftwerke\\_in\\_deutschland\\_final\\_fs.pdf](https://www.oxfam.de/system/files/infoblatt_kohlekraftwerke_in_deutschland_final_fs.pdf)
- Paul Wagner et fils.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://www.pwagner.lu/project/installation-photovoltaique-lycee-du-nord-a-wiltz/>
- pfi.public.lu.* (2023, 2 14). Récupéré sur <https://pfi.public.lu/content/dam/pfi/pdf/legislation/tva/circulaires/circulaire-816-loi-budgtaire-modifications-taux-ponctuelles.pdf>
- renewables.enovos.lu.* (2023, 2 16). Récupéré sur [https://renewables.enovos.lu/fr/?filter\\_category=energie-solaire](https://renewables.enovos.lu/fr/?filter_category=energie-solaire)
- solaranlagen-portal.de.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/kosten>
- Solarwatt.de.* (2023, 2 16). Récupéré sur <https://www.solarwatt.de/ratgeber/photovoltaik-kosten#:~:text=Preise%20von%20PV%2DAnlagen&text=L%C3%A4sst%20man%20diese%20Unw%C3%A4gbarkeiten%20au%C3%9Fer,steuerliche%20Optimierung%20der%20Anlage%20reduzieren>

*Soutien état: guichet-public.lu.* (2023, 2 16). Récupéré sur  
<https://guichet.public.lu/fr/entreprises/sectoriel/energie/production-electricite-energies-renouvelables.html#bloub-1>

*spuerkeess.lu.* (2023, 2 17). Récupéré sur  
<https://www.spuerkeess.lu/de/privatkunden/tools/immobilienkredit-simulation/>

*volker-quasching.de.* (2023, 2 17). Récupéré sur <https://www.volker-quasching.de/datserv/CO2-spez/index.php#Inhalt>



# We need green TO KEEP EARTH CLEAN

Project : Panneaux solaires  
sur le LEM



alimenter notre  
école en énergie  
verte



indépendant du  
réseau électrique



être prêt pour  
l'avenir

Aidez notre lycée à se développer,  
classe 6C6

**Webseite, sollten wir machen**

Nora Weirg, classe 6C6, projet: panneaux solaires



# We need **green** To keep Earth **clean**



Solarpanele  
für  
LEM

Die Klasse 6C6  
hat ein grosses  
Projekt:  
LEM mit Solarpanelen  
zu bedecken, um  
grünen Strom  
zu erzeugen.



We need  
**Green**



Alexandra Reding, Alina Ludmila Ciszek, Nora Weirg – Klasse 6C6 – projekt: Solarpanele





