

**Jan Pokorný a kol. ENKI o.p.s.**

Chladicí efekt rostlin, jeho měření a nutnost vzdělávání dětí i  
široké veřejnosti

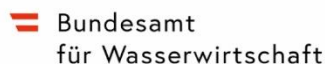
Kühlwirkung von Pflanzen, deren Messungen und  
Bildungsmaßnahmen für Kinder und die Öffentlichkeit

**Interreg Plants4cooling (ATCZ00093)**

**Zahajovací konference Plants4cooling 11.6.2024**

*Eröffnungskonferenz Plants4cooling*

*České Velenice*



Kofinanziert von der  
Europäischen Union

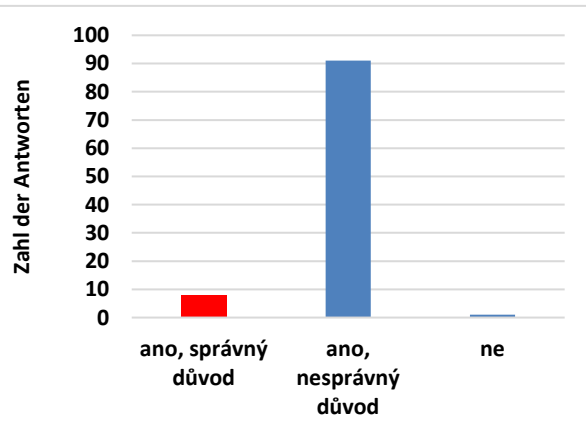
# Fragen zum Nachdenken

- Die Sonne ist aus. Wie hätte sich denn die Erde entwickelt?
- Wie viel Solarenergie fällt an einem heiteren Tag in der Vegetationssaison auf ein Quadratmeter?
- Wie ist die Differenz in der Menge der kommenden Solarenergie beim heiteren und beim bewölkten Himmel?
- Die Sonne hat die Oberflächentemperatur um 6000 K und sendet die Lichtstrahlung (sichtbare Strahlung) (+ UV, nahe dem Infrarot). Welche Strahlung sendet die Erde-Oberfläche?
- Verdampfungswärme vom Wasser. Welches Wasserdampfvolumen entsteht aus einem Liter flüssigem Wasser?
- Ein Baum verdampfte 10 Liter Wasser pro Stunde. Wie viel Solarenergie band sich in den Wasserdampf?
- Die mittlere Verdampfungsgeschwindigkeit beim sonnigen Wetter ist  $0.004 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ; das entspricht dem Energiefluss  $240 \text{ W/m}^2$
- Eine Wiese wurde zum Parkplatz und Industriehallen umgebaut, aus denen kein Wasser verdampft. Wie änderte sich die Distribution der Solarenergie?
- Ein Wald ist dunkler als eine Betonfläche und hat eine wesentlich niedrigere Oberflächentemperatur beim sonnigen Wetter als die helle Betonfläche. Warum?
- Wieso, dass die Flüsse fließen? Was heißt ein kleiner Wasserkreislauf?

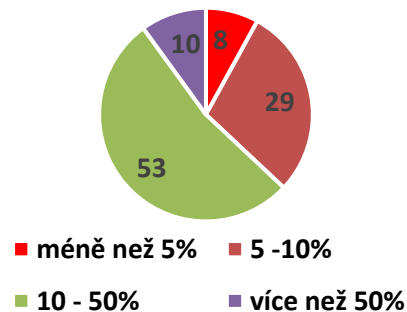
Frage : **Gibt es Unterschied in der Distribution der Solarenergie auf einem gepflasterten Marktplatz und im Nachbarkpark mit Rasen und hohen Bäumen?**

a) Ja, weil...

b) Nein, weil ...



**Frage: Wie ist Menge der Solarenergie, die auf die Erdoberfläche fällt und von Pflanzen für die Photosynthese verwendet wird?**

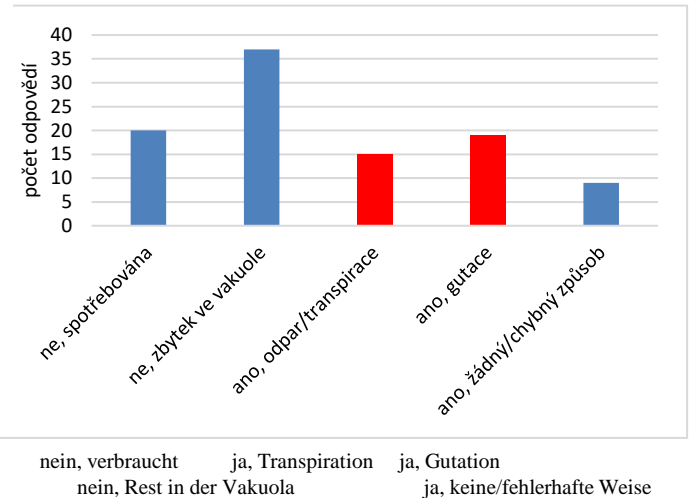


Frage: **Sie haben schon an der Grundschule gelernt, dass Wasser in die Pflanze durch Wurzel gelangt. Gibt es einen anderen Weg, wie das Wasser aus der Pflanze weg geht?**

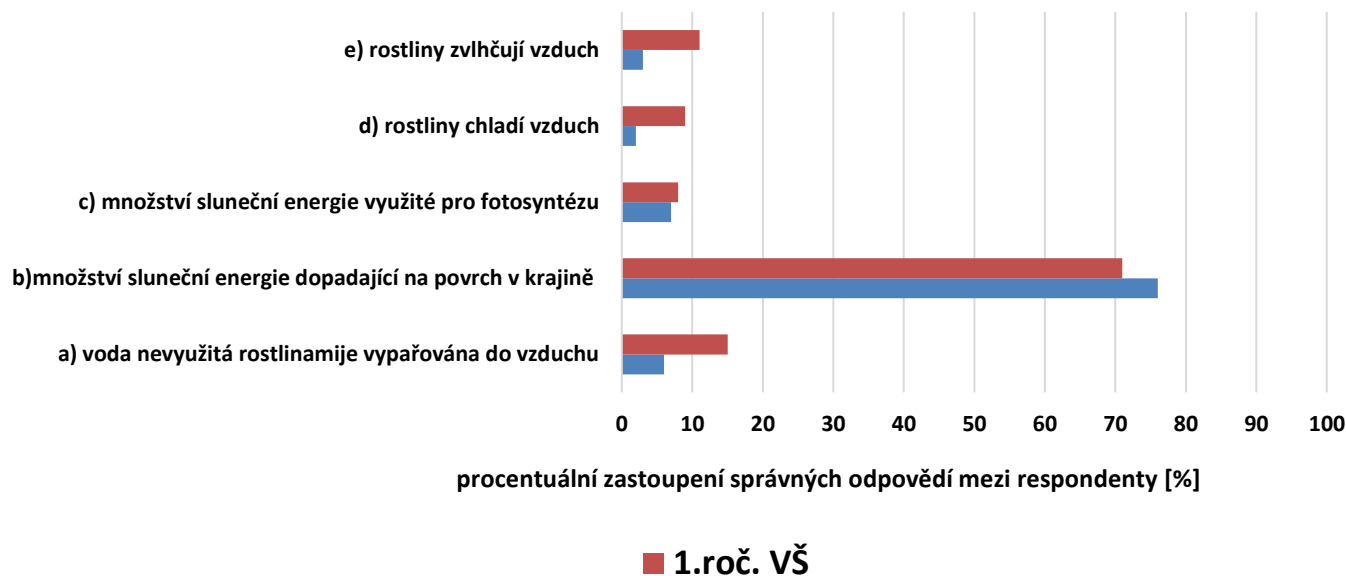
a) **Nein, ganzes Wasser wird von der Pflanze verbraucht**

b) **Nein, ein Teil wird verbraucht und der Rest wird von der Pflanze in der Vakuola gespeichert**

c) **Ja, und zwar... (schreiben Sie Ihre Meinung, auf welche Weise das Wasser aus einer Pflanze weg geht)**



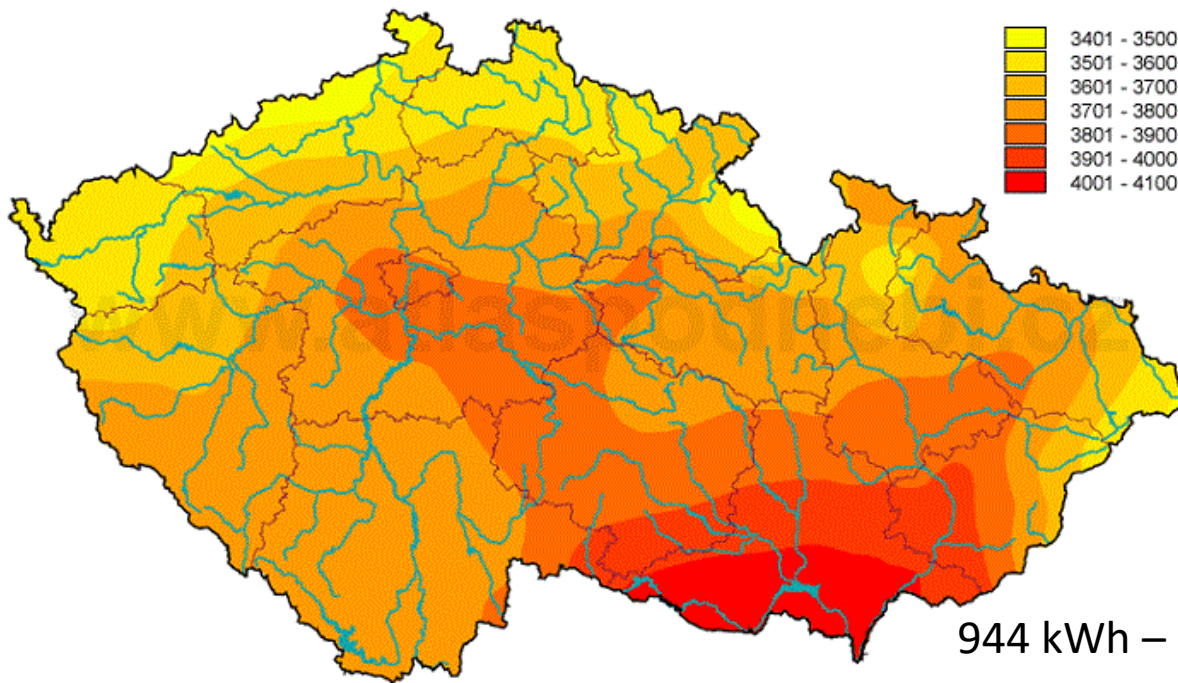
# Kenntnisse der SchülerInnen der Grundschule und der Lehramt-Studierenden für die Naturkunde – 1. Semester der Hochschule zum Thema – Vegetation – Wasser - Solarenergie



Probe: 641 GrundschülerInnen, 100 Studierende

# Distribution der Solarenergie auf der Erdoberfläche

- Auf die obere Grenze der Atmosphäre fallen  $\pm 1367 \text{ W.m}^{-2}$
- Ca.  $1/3$  (Reflexion von den Wolken, Schlucken durch die Atmosphäre)
- Auf die Erdoberfläche kommen am sonnigen Sommertag bis  $900 \text{ W.m}^{-2}$  (beim senkrechten Einfall  $1000 \text{ W.m}^{-2}$ )
- In einem Jahr fallen ca.  $1100 \text{ kWh}$  Solarenergie pro  $1 \text{ m}^{-2}$  in unseren klimatischen Bedingungen.



$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0,000278 \text{ Wh}$$

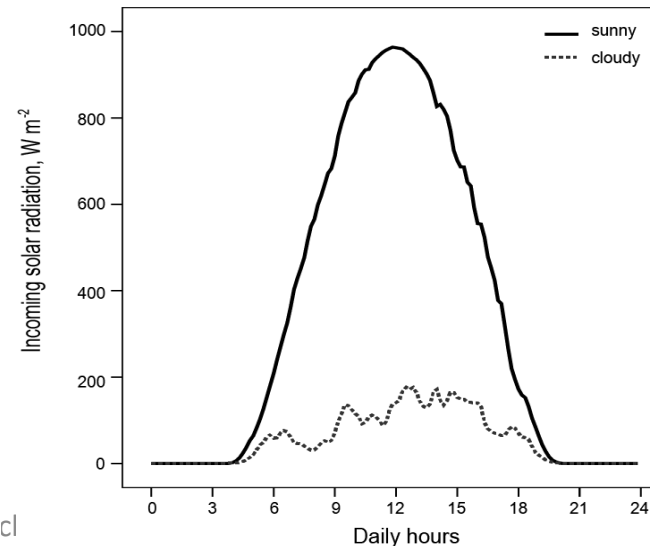
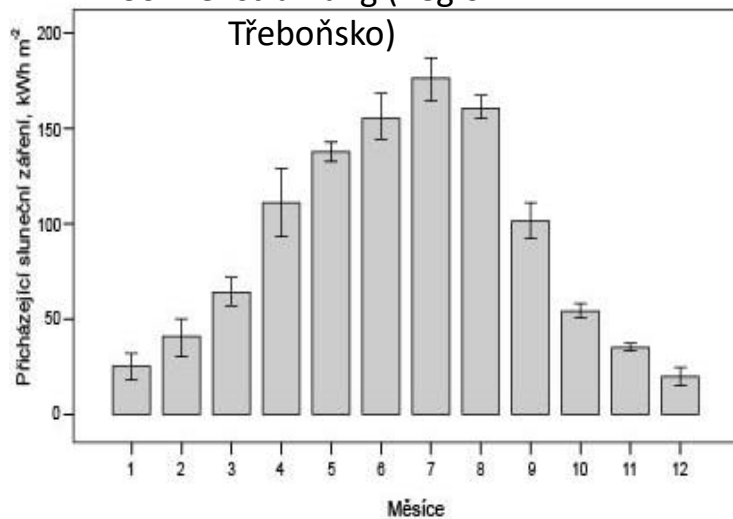
$$1 \text{ MJ} = 0,278 \text{ kWh}$$

$$W = J \cdot s^{-1}$$

Sonnenstrahlung auf eine horizontale Fläche in Tschechien in MJ.m<sup>-2</sup>.Jahr<sup>-1</sup>),  
Zdroj: ČHMÚ

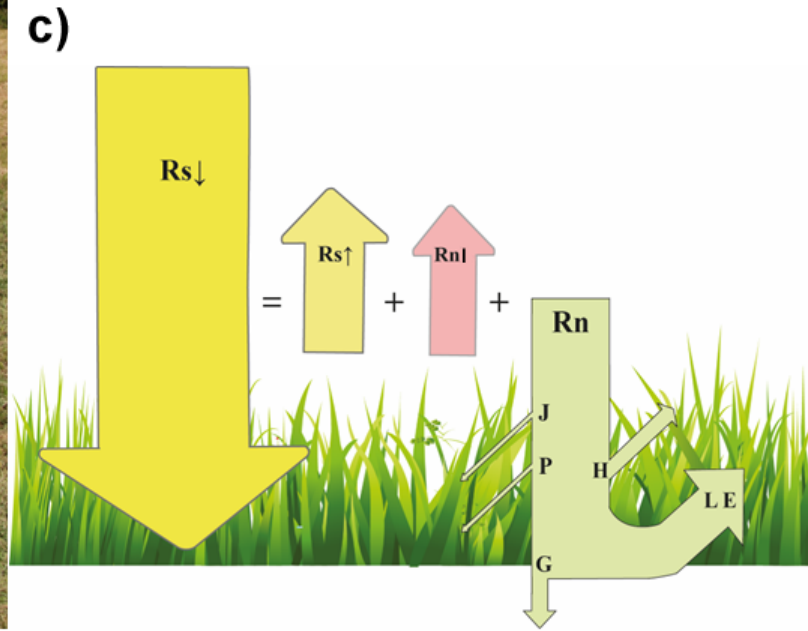
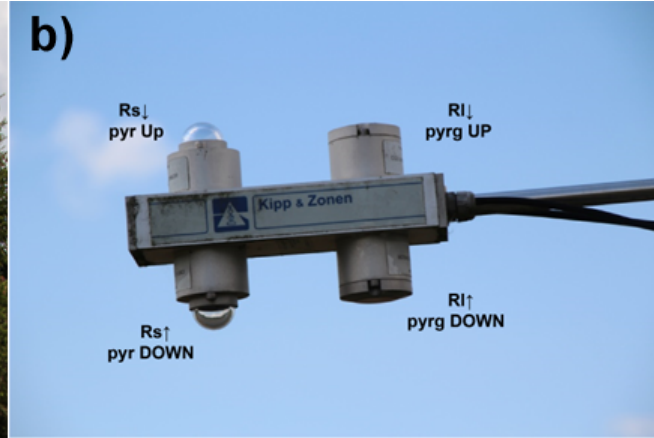
944 kWh – 1140 kWh.m<sup>-2</sup>. Jahr<sup>-1</sup>

Monatliche Summen der Sonnenstrahlung (Region Třeboňsko)

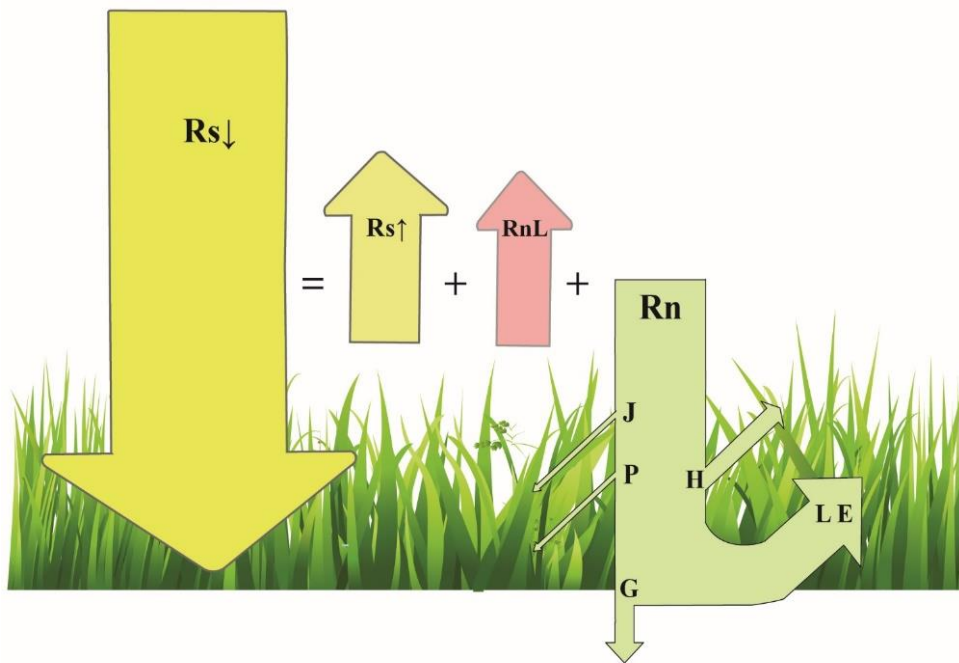


Solarenergie am sonnigen und am bewölkten Tag

**Die Bewölkung reduziert die Leistungsaufnahme der Sonnenstrahlung**



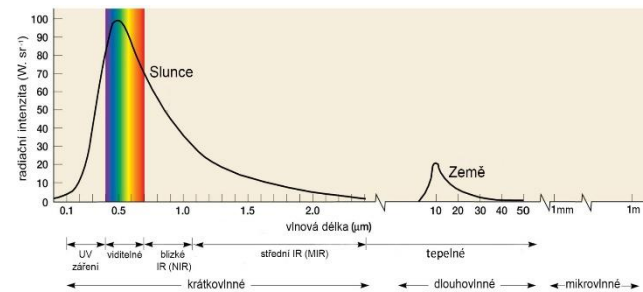




$$R_n = (R_{s\downarrow} - R_{s\uparrow}) + (R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow})$$

$$R_n = R_{s\downarrow} - R_{s\uparrow} - R_{nL}$$

$$R_n = LE + H + G + J + P$$



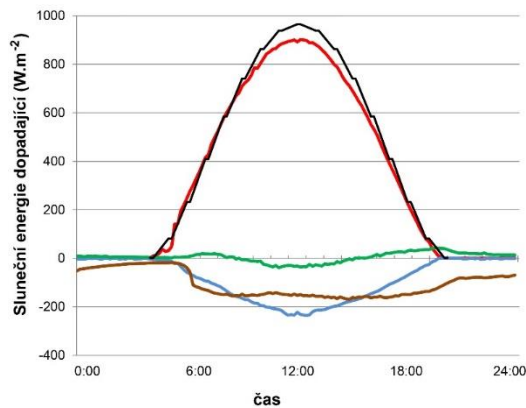
*Schema der Strahlungsbilanz der Vegetation. Mit einem Nettoradiometer können die wichtigsten Ströme gemessen werden: die kurzwellige einfallende Sonnenstrahlung ( $R_{s\downarrow}$  = short wave radiation), die reflektierte kurzwellige Sonnenstrahlung ( $R_{s\uparrow}$ ) und die von der Erdoberfläche in die Atmosphäre emittierte langwellige Strahlung ( $R_{nL}$  = net long wave radiation). Der "Rest" besteht aus der so genannten Nettostrahlung ( $R_n$  = Nettostrahlung), die in der Vegetation hauptsächlich in der Verdunstung von Wasser als latente Verdunstungswärme ( $LE$  = Evapotranspiration) gebunden ist, die Oberfläche erwärmt und von der erwärmten Oberfläche aus die Luft ( $H$  = sensible Wärme) und den Boden ( $G$  = Bodenwärmestrom, ground heat flux) erwärmt. Ein sehr kleiner Teil der Sonnenenergie (maximal 1 %) wird durch Photosynthese in Biomasse ( $P$ ) gebunden und erwärmt die Biomasse der Vegetation ( $J$ ).*



Solarenergie - Einfall ( $R_s\downarrow$ ), und reflektiert ( $R_s\uparrow$ ) Langwellenstrahlung/Wärme zwischen dem Sensor und dem Himmel ( $R_l\downarrow$ ), Langwellenstrahlung zwischen dem Sensor und dem Gras ( $R_l\uparrow$ ),  $R_{sTeor}\downarrow$  theoretischer Verlauf der einfallenden  $R_s\downarrow$  ( $W.m^{-2}$ ) Sommersonnenwende **19. 6. 2017 heiter**, (a) **21. 6. 2020 bewölkt** (b), **12.3.2022 niedrige Luftfeuchtigkeit** (c); (Jirka et al. 2021)

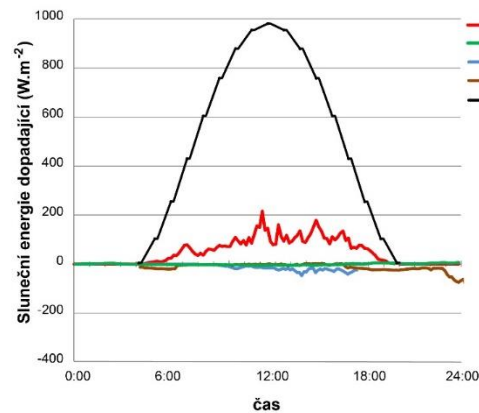
19.06.2017

jasno



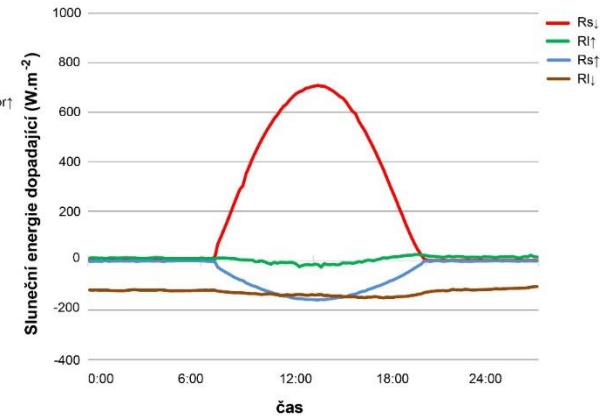
21.06.2020

zataženo

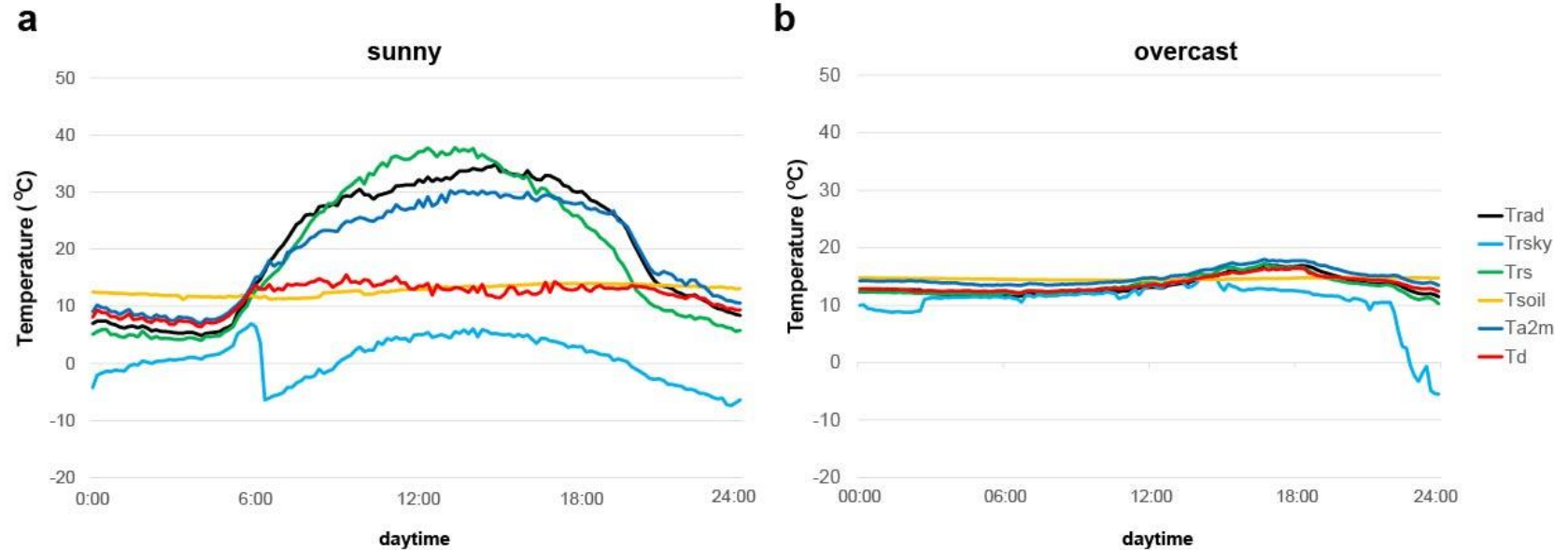


12.03.2022

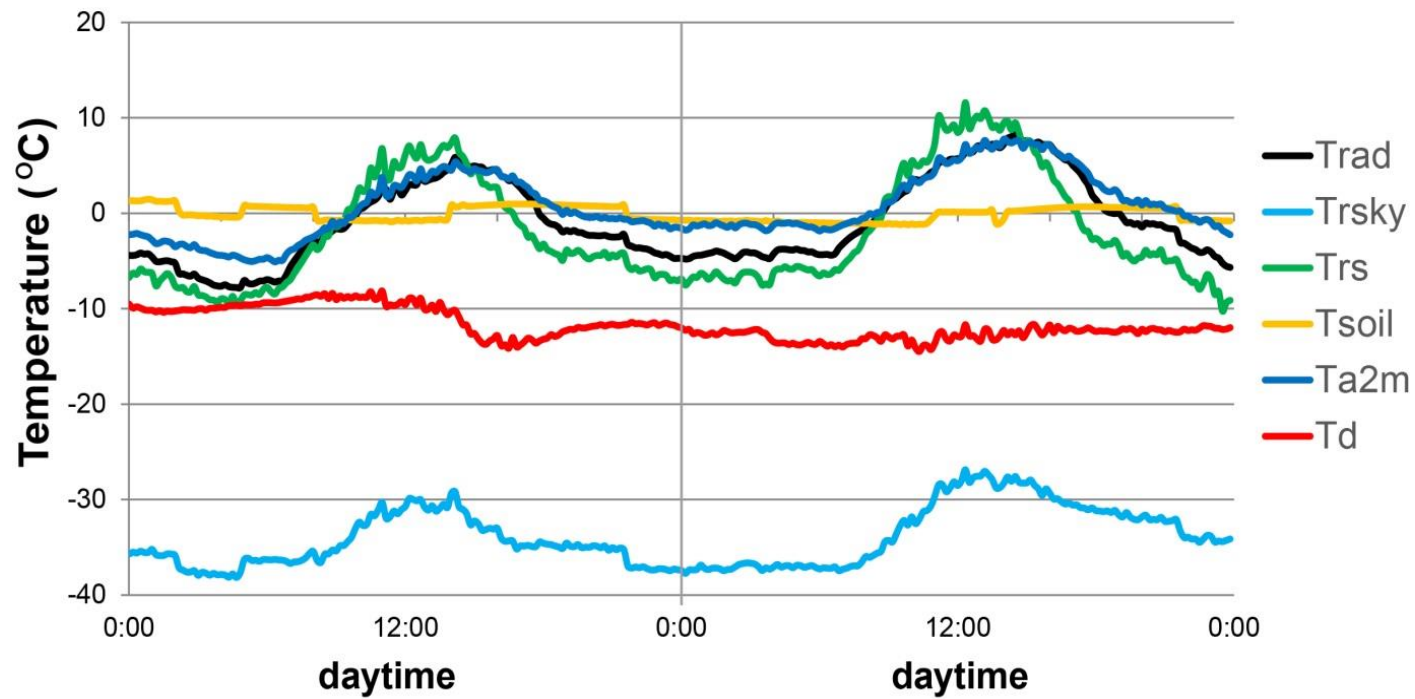
jasno



Tagesverlauf der Oberflächentemperatur vom Grasrasen (Trs), Lufttemperatur 2m (Ta2m), Temperatur vom Radiometer (Trad), effektive Himmeltemperatur (Trsky), Bodentemperatur 5cm tief, Taupunkttemperatur (Td), Sommersonnenwende **19. 6. 2017 heiter** (a) **21. 6. 2020 bewölkt** (b)



Tagesverlauf der Oberflächentemperatur vom Grasrasen (Trs), Lufttemperatur 2m (Ta2m), Temperatur des Radiometers (Trad), effektive Himmeltemperatur (Trsky), Bodentemperatur 5cm tief, Taupunkttemperatur (Td) 11. – 12. März 2022



Die Menge der einfallenden Solarenergie an einem bestimmten Tag hängt von der Bewölkung ab. Die Menge der langwelligen Strahlung (Wärme), die in die Atmosphäre abgestrahlt wird, hängt von der Luftfeuchtigkeit und der Bewölkung ab. Im März 2022 wurden 59 % der gesamten einfallenden Solarenergie in die Atmosphäre abgestrahlt (geringer Treibhauseffekt).

datum	Dopadající sluneční energie $R_s$ $\text{kWhm}^{-2}\text{den}^{-1}$	Odražená sluneční energie $R_s$ $\text{kWhm}^{-2}\text{den}^{-1}$	Dlouhovlnné záření země do atmosféry $R_l$ $\text{kWhm}^{-2}\text{den}^{-1}$	Čisté záření $R_n$ $\text{kWhm}^{-2}\text{den}^{-1}$	% sluneční energie vyzářené do atmosféry
19.6. 2017	8,2	2,05	2,5	6,16	31%
21.6. 2020	1,2	0,27	0.3	0,93	28%
12.3. 2022	5,0	1,23	2,94	0,83	59%

Blaubeeren froren im März 2022, es erhöht sich die Anzahl der Tage mit Bodenfrost (weniger Wasserdampf, geringerer Treibhauseffekt).  
Ähnliche Situation Ende April 2024



# **Die Menge der einfallenden Sonnenenergie an einem bestimmten Tag hängt von der Bewölkung ab**

- **Die Menge der in die Atmosphäre abgestrahlten langwelligen Strahlung (Wärme) hängt von der Luftfeuchtigkeit ab.** Im März 2022 wurden 59 % der gesamten einfallenden Sonnenenergie (geringer Treibhauseffekt) in die Atmosphäre abgestrahlt. Meistens um die 30%
- **Frage: Beeinflusst der Mensch die Menge des Wasserdampfs in der Luft und die Bewölkung?**

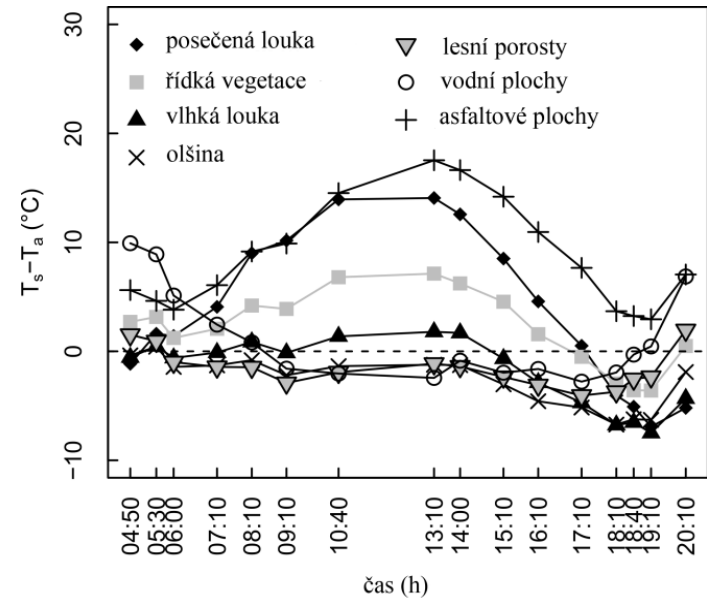
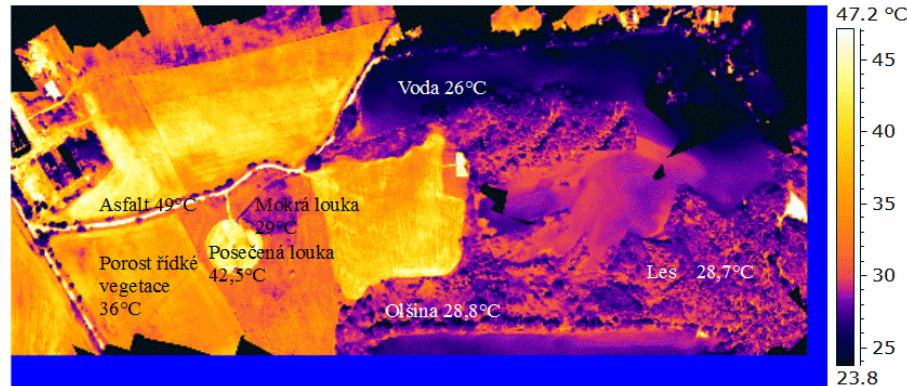
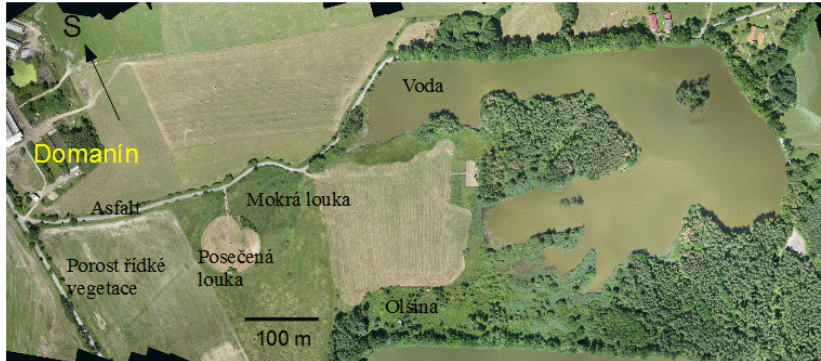


**Temperatur: Himmel -20,4 °C, Wolke +14,6 °C**  
der Wasserdampf entscheidet über die Leistungsaufnahme  
der Sonnenstrahlung sowie über die Wärmemenge, die von  
der Erde in den Himmel fließt



# Differenz der Oberflächentemperatur $T_s$

## und der Lufttemperatur $T_a$



gemähte Wiese  
dünne Vegetation  
Feuchtwiese  
Erlenbestand

Waldbestand  
Wasserflächen  
Asphaltflächen

Das von einem Luftschiff in der Nähe von Domanín u Třeboně aufgenommene Wärmebild (9. Juli 2009 um 14:00 Uhr) zeigt die Oberflächentemperatur verschiedener Arten von Landschaftsbedeckung an einem heißen Sommertag ( $T_{air} 30^{\circ}C$ ). Die kühlestn Oberflächen (außer Wasser  $26^{\circ}C$ ) sind Erlen, Wald und Feuchtwiese (ca.  $29^{\circ}C$ ) aufgrund der Evapotranspiration. Die Temperatur der trockenen, gemähten Wiese ( $42,5^{\circ}C$ ) liegt nahe an der Temperatur der Asphaltfläche ( $49^{\circ}C$ ). Auf einer kleinen Fläche treten Temperaturunterschiede von über  $20^{\circ}C$  auf.



Dünne Vegetation

Gemähte Wiese

Feuchtwiese

Erlenbestand

Wald

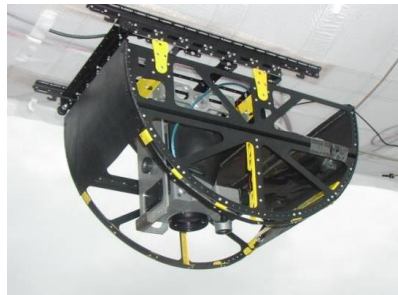
Wasser

Asphalt

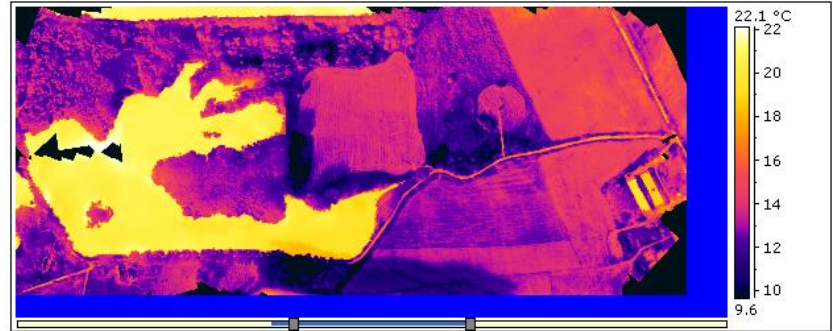
9. Juli 2009



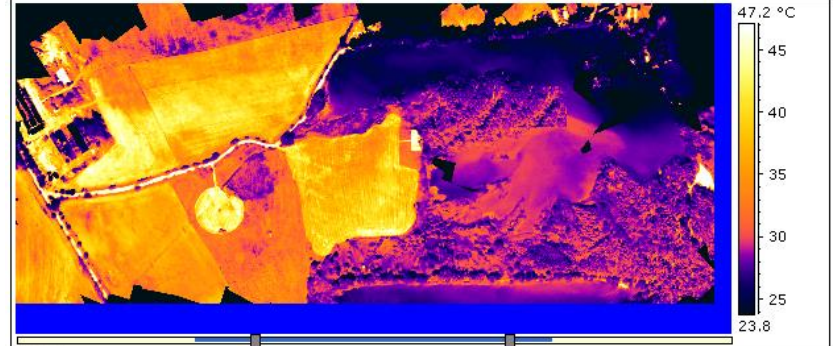
Time (h)



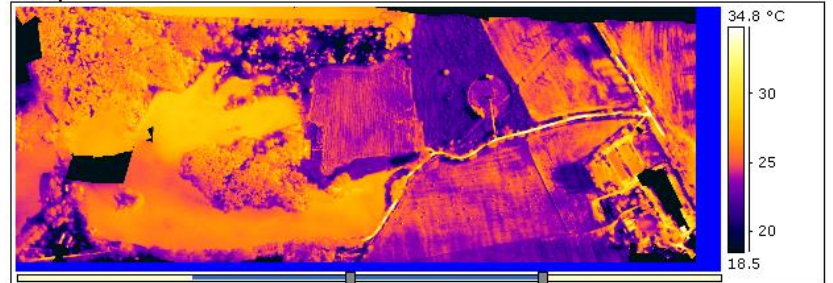
5:30



14:00

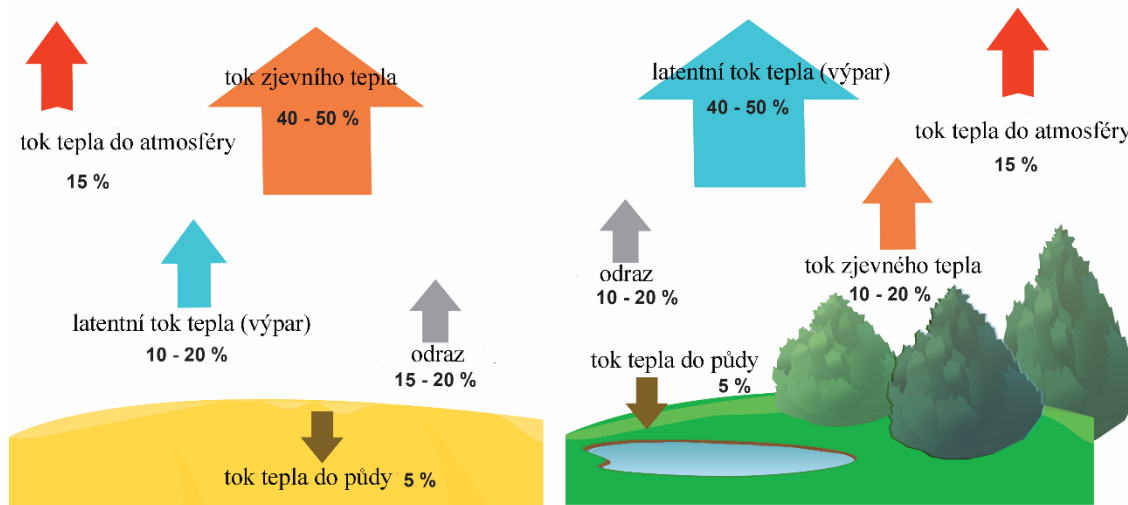


18:40



0 - 1000 W/m<sup>2</sup>  
tok sluneční energie

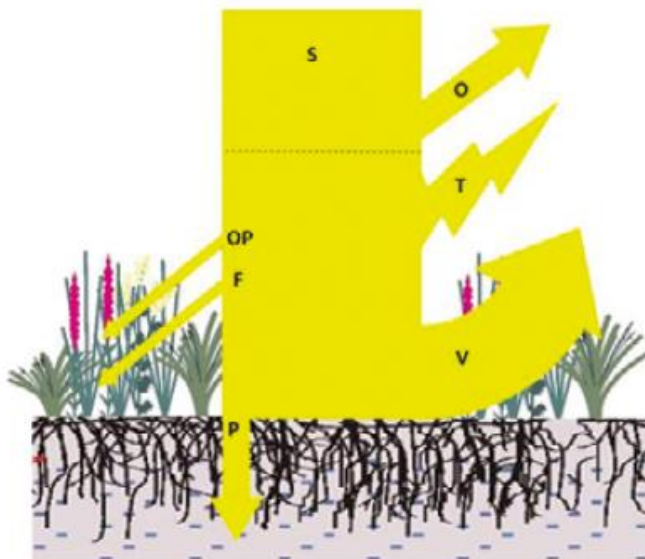
6 kWh/m<sup>2</sup>  
denní příkon sluneční energie



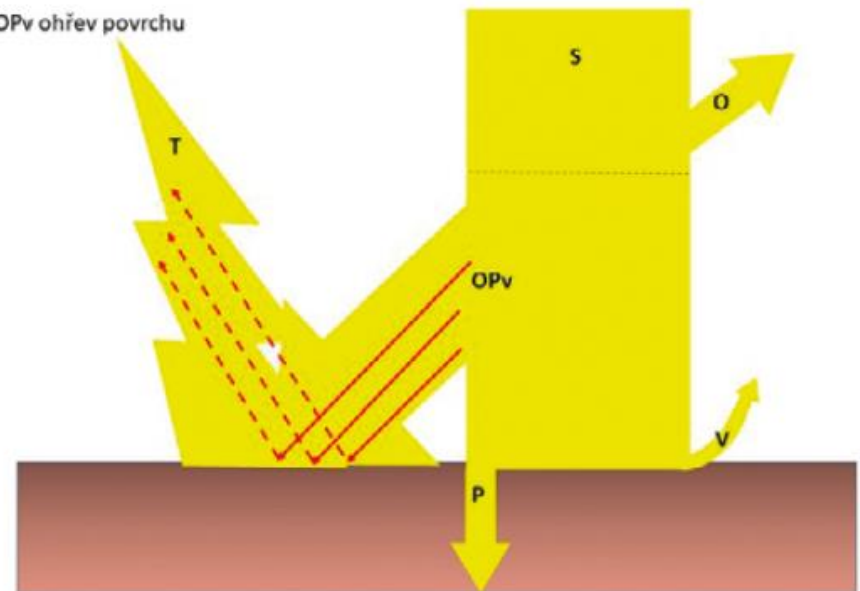
$$R_n = LE + H + G + J + P$$

Osud sluneční energie dopadající na povrch s vegetací.

S sluneční záření  
O odraz  
F fotosyntéza  
OP ohřev porostu  
V výpar  
P pohlcení půdou  
T teplý vzduch



OPv ohřev povrchu



# ENERGIE IN DER BIOMASSE und VERDUNSTUNG

Folgende Kenntnisse fehlen in der Grundbildung

Jahresproduktion der **Biomasse**

**0,5 %**

von der gesamten Energiemenge pro Jahr  
1100kWh/m<sup>2</sup>.Jahr

**Produktion: 1 kg Trockenmasse von 1 m<sup>2</sup> (5 kWh)**

Es verdunsten einige Hunderte Liter Wasser für Bildung von 1kg  
Pflanzemnbiomasse

**500 kg verdampftes Wasser = Kühlung 340 kWh (0,68kWh  
Verdunstungswärme)**

**(Transpirationskoeffizient)**

## Wie wiederholen Grundbegriffe in Physik

Der solare Energiestrom wird gemessen und ausgedrückt in

$$\text{W m}^{-2}$$

Bei voller Sonneneinstrahlung gibt es bis zu **1000 W pro  $\text{m}^2$** . Bei bewölktem Himmel sind es  $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  oder weniger. In einem Raum beträgt die Lichtintensität höchstens ein paar  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Zur Verdunstung von 1 Liter Wasser verbraucht man

$$2440 \text{ kJ} = 0,68 \text{ kWh}$$

Wenn der Wasserdampf wieder zu flüssigem Wasser kondensiert, wird die Wärme des Aggregatzustandes freigesetzt

Der Wasserdampf von 1 Liter Wasser hat ein Volumen von etwa 1200 Litern und enthält eine Wärme des Aggregatzustandes von 0,68 kWh

*Eine 50Ah, 12V Autobatterie hat eine Kapazität von  $600 \text{ Wh} = 0,6 \text{ kWh}$*



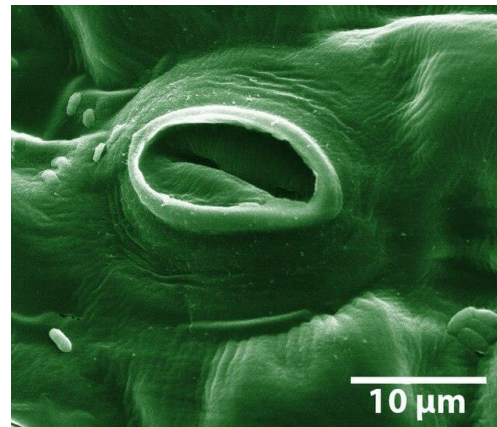
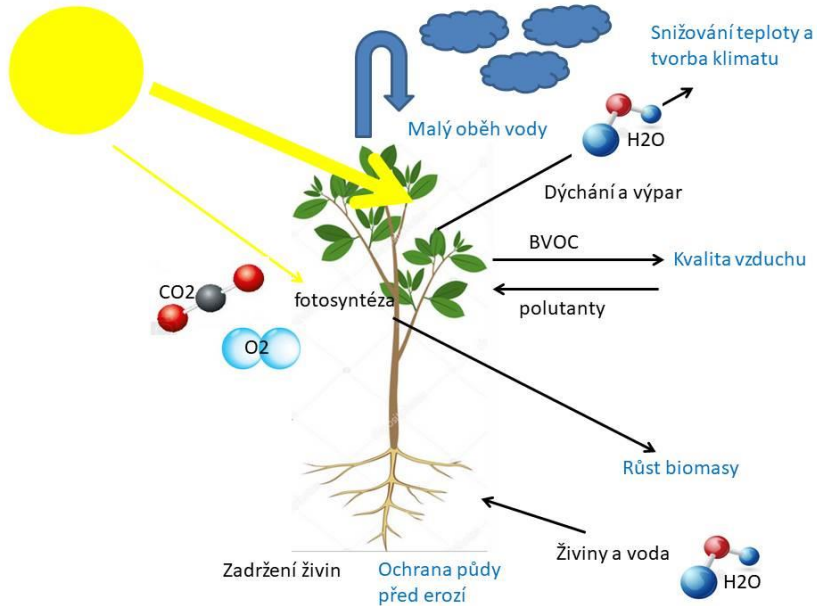
# *Merken wir uns ....*

- **Zur Verdunstung von 1 Liter Wasser ist die Energie von  $2,45 \text{ MJ.l}^{-1}$  zu liefern, was circa **0,68 kWh** der Solarenergie darstellt ( $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ ,  $2\,450 : 3600 = 0,68 \text{ kWh}$ ).**
- Aus einem **Liter Wasser** entstehen circa **1244 Liter Wasserdampf** unter dem normalen Druck.

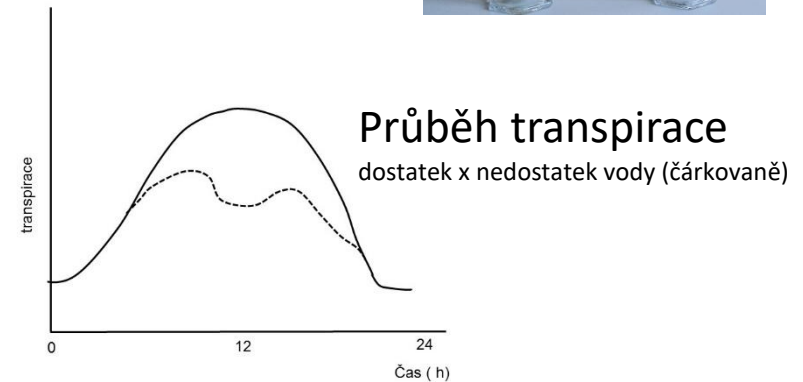
Wasser als Energiespeicher

Eine Autobatterie 12V, 60Ah verfügt über die Kapazität von  $720 \text{ Wh}$ , **0,72 kWh**





Průduch  
www.wikipedia.cz



- Die Bewegung des Wassers durch den Pflanzenkörper auch in Richtung gegen die Gravitation der Erde wird durch den Gradienten des sogenannten Wasserpotentials (physiologische Größe) verursacht
- Größe, die die Fähigkeit einer Zelle bestimmt, Wasser aufzunehmen (sog. Absorptionsvermögen der Zelle); das höchste Absorptionsvermögen wäre nach der Definition des Wasserpotentials eine völlig trockene Zelle, das niedrigste Absorptionsvermögen wäre eine mit Wasser vollgesättigte Zelle
- Die treibende Kraft für die Bewegung des Wassers durch den Stiel ist die Sonnenenergie. Der Wasserdampf verdunstet durch die Spaltöffnungen, und gleichzeitig wird das Wasser von den Wurzeln aufgenommen und durch die Gefäßbündel zu den Blättern transportiert. Wenn die Wasserversorgung eingeschränkt ist, schließt die Pflanze die Spaltöffnungen, um die Verdunstung zu verringern und so kurzfristige Wasserknappheit zu überstehen.

# Im Unterricht wäre die Photosynthese mit der Transpiration und mit Nutzung der Solarenergie zu verbinden

- Pflanzenwachstum. Photosynthese und Transpiration des Wassers. Einheiten  $\text{Wm}^{-2}$  bei Photosynthese und Hunderte von  $\text{Wm}^{-2}$  bei Transpiration.
- Für die Bildung 1kg Pflanzen-Biomasse durch Photosynthese verbraucht (verdunstet) eine Pflanze mehrere Hunderte von Wasserkilogramm (Transpirationskoeffizient).
- 1kg der Pflanzen-Biomasse hat einen Energiegehalt (Enthalpie, Verbrennungswärme) 4 – 5kWh
- Für Verdunstung von 100 kg Wasser werden 68kWh Energie verbraucht.

Unter einem Baum ist die Intensität der Sonnenstrahlung 10 Mal niedriger und die Temperatur 24 °C niedriger als auf einem sonnigen Bürgersteig. Der Baum wird durch Wasserverdunstung gekühlt. **Für ein Molekül<sub>CO2</sub>, das aufgenommen wird, werden mehrere hundert Moleküle Wasser ausgestoßen.**

100mg Wasser aus 1 m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> entspricht dem Solarenergieverbrauch für Verdunstung (latente Verdunstungswärme) 240 W.

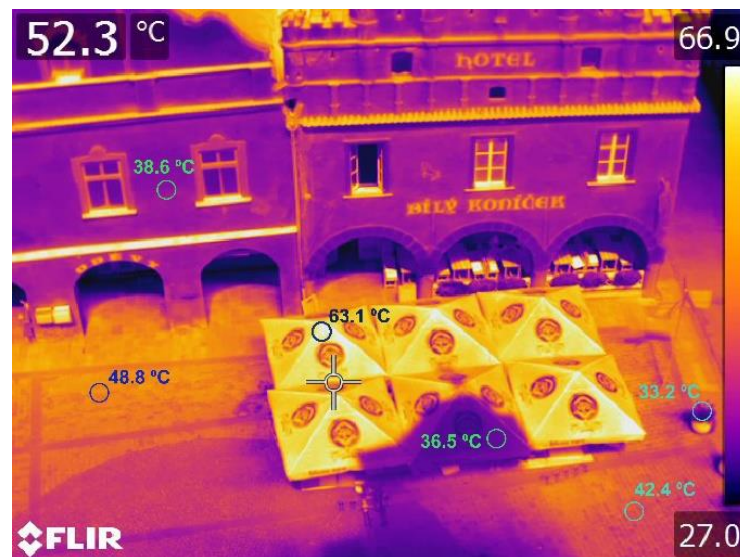
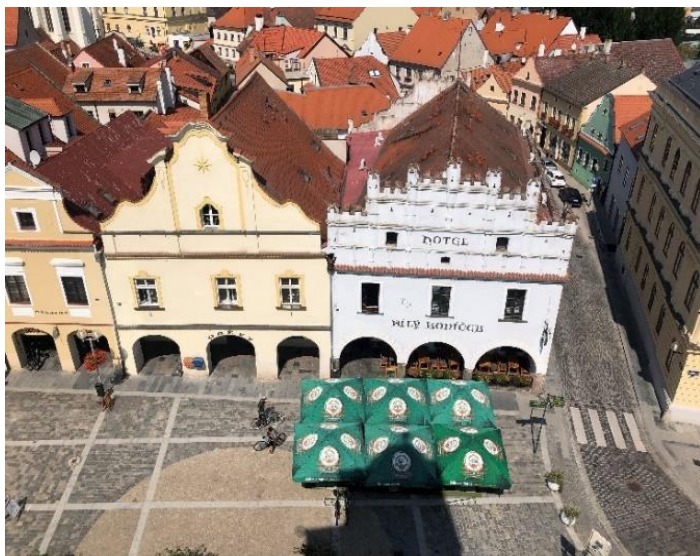


*Das Klimagerät auf dem Bild hat eine Leistungsaufnahme von 3,4 kW  
Das Klimagerät erwärmt die Umgebung, so wie ein Kühlschrank einen  
Raum erwärmt. "Wohin sendet der Baum, der kühlt, die Wärme?"*





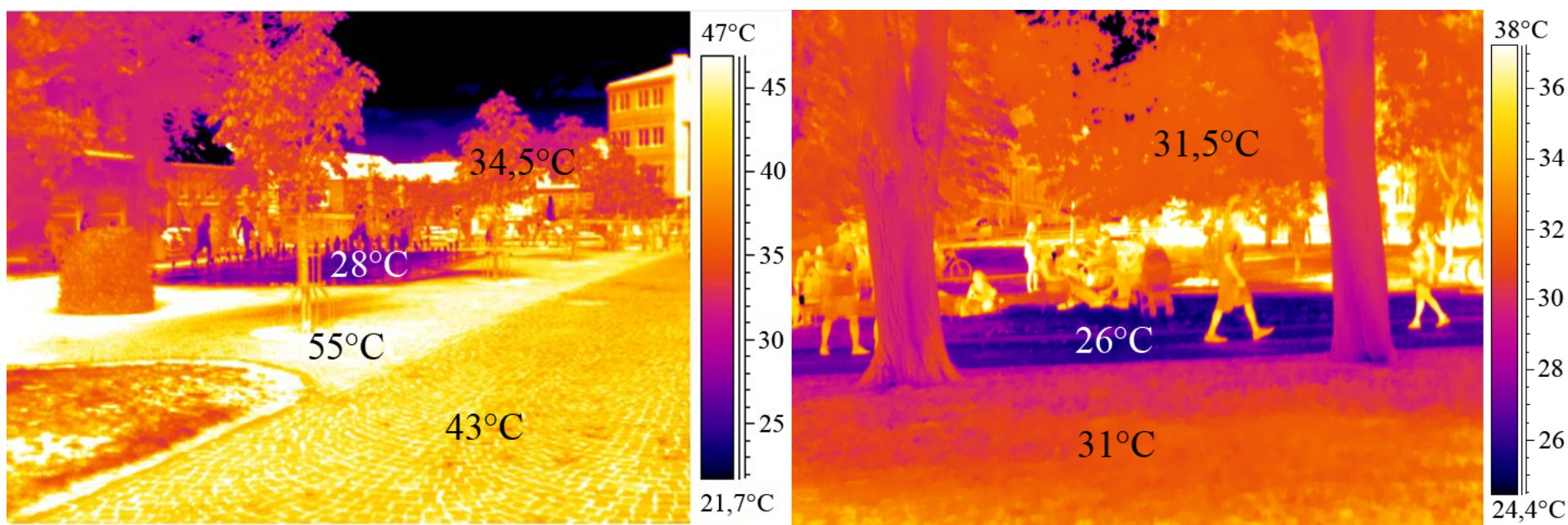
Oberflächentemperatur von Pflaster- und Sonnenschirmflächen bis zu 60 °C. Im Schatten der Bäume im Park übersteigt sie selten 30 °C



ické a klimat



# „Revitalisierung der Grünanlagen“, Vergrößerung der gepflasterten Fläche, Fällen von Bäumen



Jindřichův Hradec Husovy sady  
Rok 2003 versus 2020



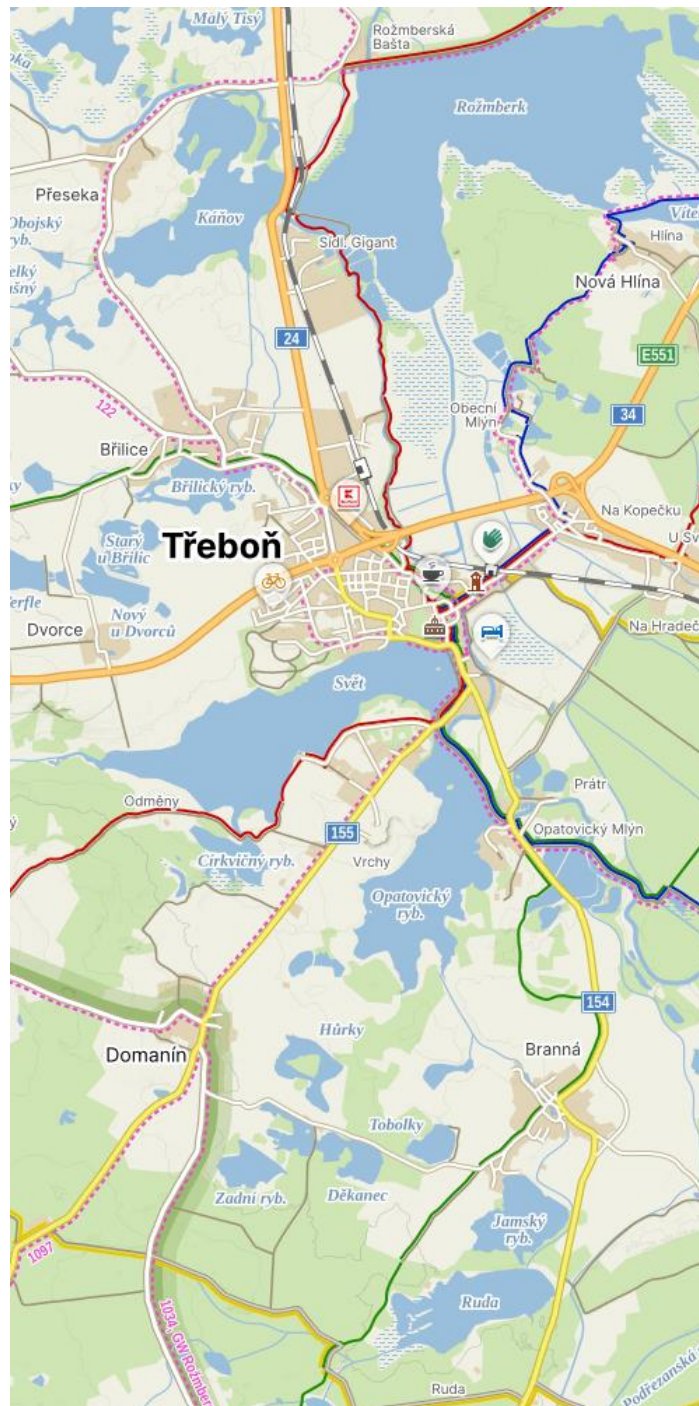
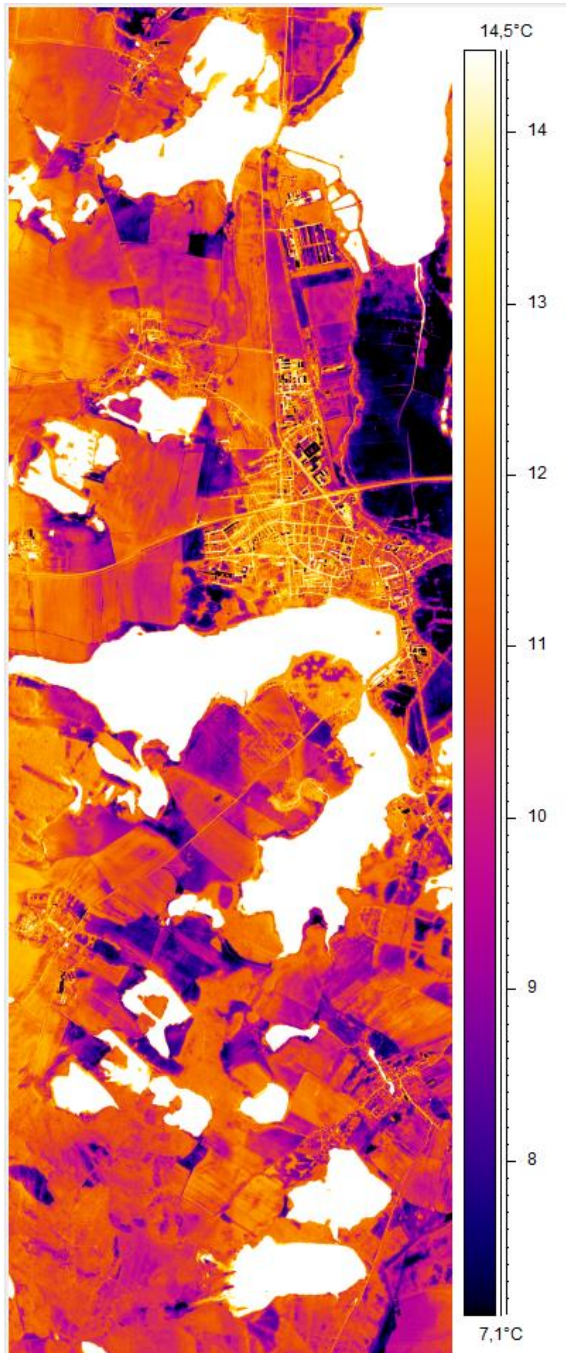
Es folgt eine Thermovisionsaufnahme von  
Třeboň und Umgebung an einem sonnigen Tag

Am Morgen hat die Wasseroberfläche der Teiche  
die höchste Temperatur. Am Nachmittag haben  
die Dächer von Häusern, Kopfsteinpflaster oder  
gemähte Felder die höchste Temperatur.

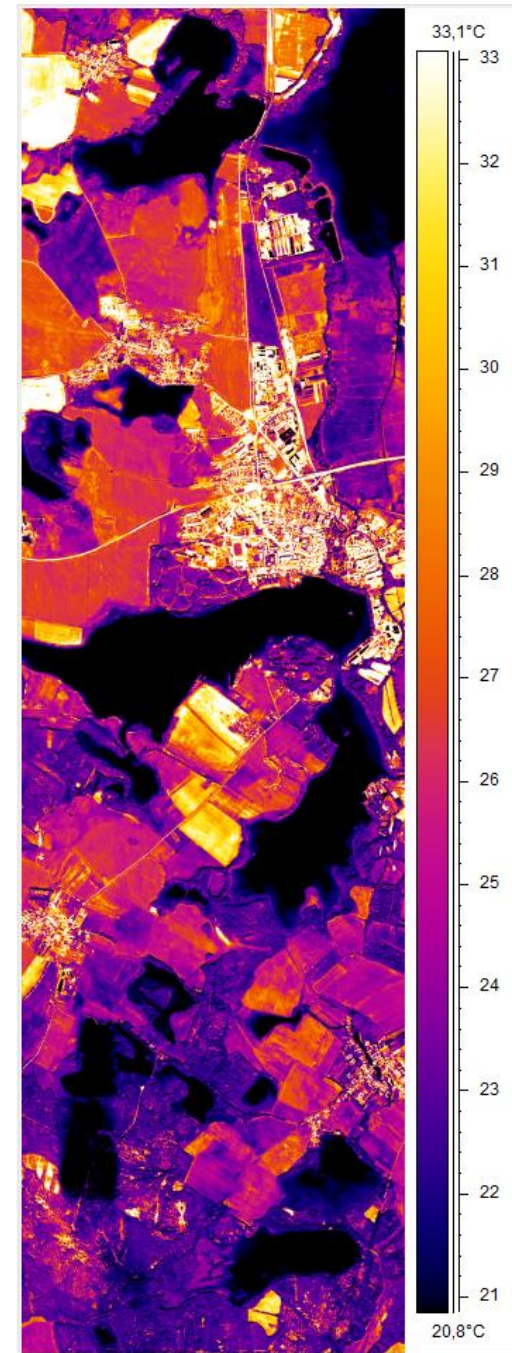
Wasseroberfläche, Parkbäume, Wälder und  
Feuchtwiesen haben die niedrigste Temperatur



# Morgen



# Nachmittag

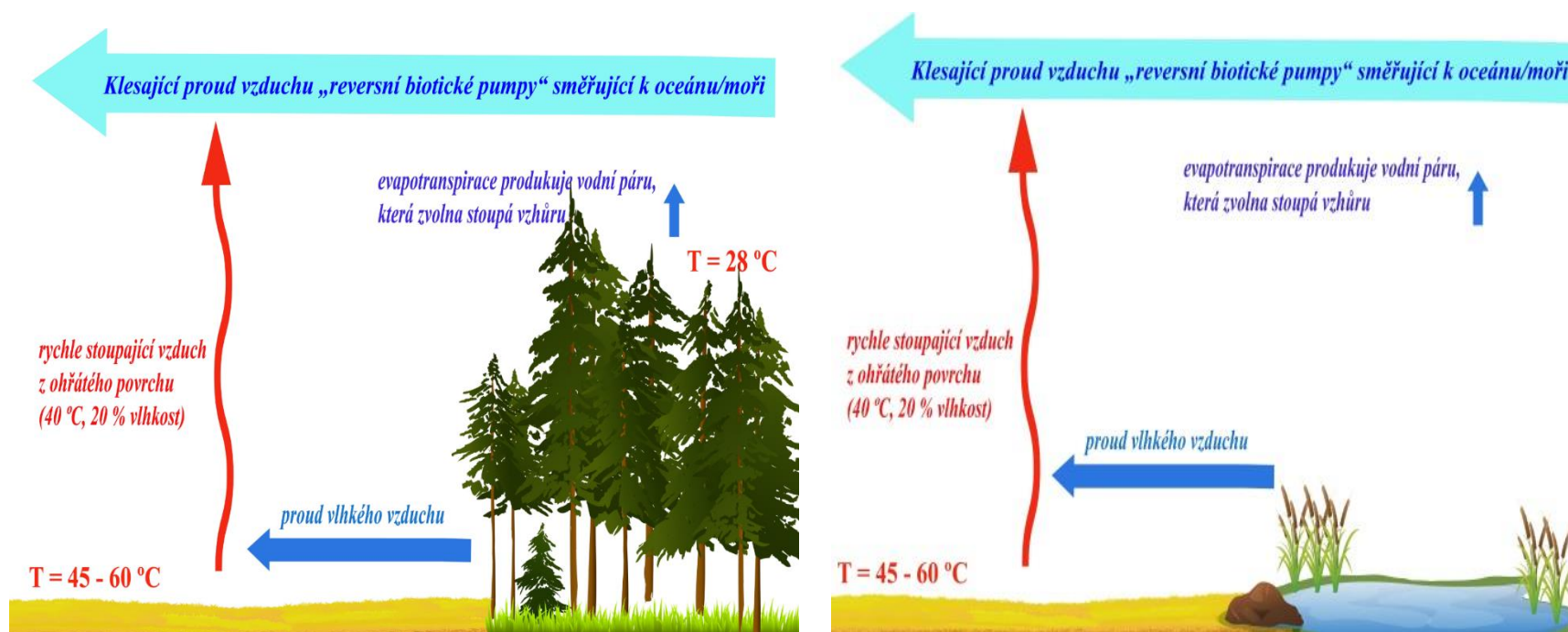




Trockene Flächen überhitzen auf der Sonne, von ihnen erwärmt sich die Luft, die schnell nach oben steigt und die Feuchtigkeit hoch in die Atmosphäre wegbringt

Pokorný, J., & Hesslerová, P. (2019, 14.2.2019). **Wie trocknen wir aus – oder, stimmt es, dass „die Teiche die hydrologische Bilanz verderben“?** . Fachkonferenz des Fischerverbandes Tschechiens, Budweis.

Makarieva, A.M., Nobre, A., Nefiodov, A.V. Sheil, D., Nobre, P., Pokorny, J., Hesslerova, P. Li B.-L. 2022 **Vegetation Impact on Atmospheric Moisture Transport in a Climate with Increasing Land-Ocean Temperature Contrasts**. Heliyon , [Volume 8, Issue 10](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11173), October 2022, e11173 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11173>



# Berührungsloses IR-Thermometer mit Hochtemperatur-Eingang und Kontakt-Thermoelement-Sensor



- Mit einem berührungslosen Thermometer wird die sogenannte Strahlungstemperatur gemessen.
- Messungen bis zu 600 °C
- Der eingebaute Sensor zur Messung der Lufttemperatur befindet sich im thermodynamischen Gleichgewicht mit der Luft
- Mit eingebautem Laserpointer zur besseren Zielidentifikation.
- Einstellbarer Emissionsgrad ermöglicht die genaue Messung von verschiedenen Oberflächen..

# Thermokamera VOLTcraft WB-80



- Thermokamera VOLTcraft WB-80

Thermokamera 9 Hz

Temperatur-Messumfang  
-20 bis 600 °C

Bolometrische Matrix 32 x 32 Pixel



Misst die Menge der einfallenden Sonnenenergie in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) oder BTU ( $\text{ft}^2 \cdot \text{h}$ ) Eingebauter Sonnenlichtsensor mit Präzisionsfotodiode T



- -Das Gerät misst die Sonnenstrahlungsenergie. Messen Sie mit dem SP505 die Sonnenstrahlung in Innenräumen, im Freien, bei vollem Sonnenlicht und an einem bewölkten Tag. Vergleichen Sie an einem sonnigen Tag die Sonnenenergie im Freien und unter einem Baum. Die Standardmethode zur Messung der Sonnenenergie ist die Messung der Sonnenenergie, die auf eine horizontale Fläche trifft. Vergleichen Sie mit dem Wert, wenn die Strahlen senkrecht einfallen. Dieses Gerät ist bereits vollständig getestet und kalibriert

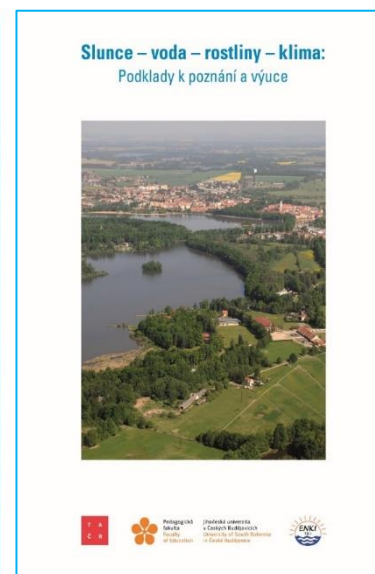
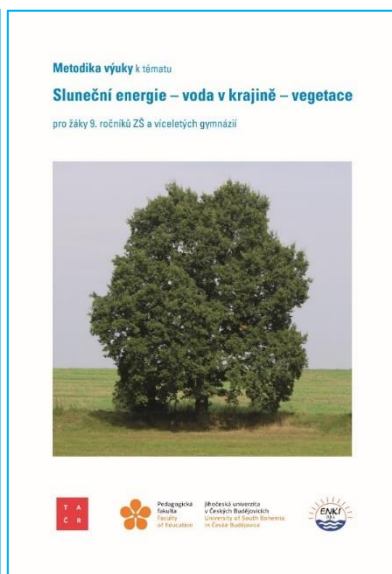
Projekt TAČR TL01000294

# Solarenergie, Wasser in der Landschaft, Vegetation: eine **neue Methodik für die Schulung von Gemeindepersonal und die Innovation des Schulunterrichts über die Auswirkungen wirtschaftlicher Eingriffe in das regionale Klima.**

*Das Projekt wird mit Finanzförderung der TAČR entwickelt*

*Projektträger: Universität Südböhmen in Budweis in Kooperation mit ENKI, o.p.s., Stadt Dačice, Třeboň wird überprüft*

T A  
Č R



<https://projekty.pf.jcu.cz/svv/>



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

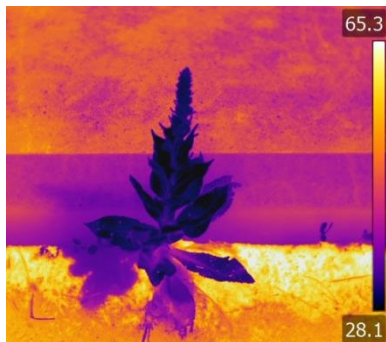
Erasmus+ Project No. 2021-1-CZ01-KA220-HED-000030213



# Education for Plant Literacy

<https://planteducation.eu/>

*6 project partners 5 EU countries 4 online publications with teaching materials on plant role in our environment appearing in 2024*



**OUR MISSION** is to improve plant literacy of general public by more efficient and attractive botany teaching at all school levels which has to be reached via education of educators, i.e. innovative teachers' training.

*Would you like to know...?*

*How can a tree cool our environment by the capacity higher than common air –conditioning system?*

*How can the forests pump the water from the sea into the continents?*

*Why is the shadow under a tree cooler than the shadow under an umbrella?*

*Why is the atmosphere above the forest smelling?*

*How to measure these principles at schools?*

*How to make botany teaching more attractive for students?*

*...and much more?*



Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice



LAPIN YLIOPISTO  
UNIVERSITY OF LAPLAND



# Literatur

<https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

- 1) Publikation: Sonne – Wasser – Pflanzen – Klima:  
Unterlagen zum Unterricht
- 2) Methodik zum Unterricht mit dem Thema Solarenergie –  
Wasser in der Landschaft – Vegetation für Studierende des  
Lehramtes für Biologie sowie für LehrerInnen aus der Praxis
- 3) Neue Methodik für Ausbildung des Gemeindepersonals auf  
das Thema Solarenergie – Wasser in der Landschaft –  
Vegetation zum Thema der Auswirkung wirtschaftlicher  
Eingriffe auf das regionale Klima

**Zugänglich unter [www.enki.cz](http://www.enki.cz)**

Jirka, V., Hesslerová, P., Huryna, H., Pokorný, J. (2021): Energetická výměna mezi zemským povrchem a atmosférou v závislosti na meteorologických podmínkách bez ohledu na obsah CO<sub>2</sub>. Vytápění, větrání, instalace 5, S. 234 – 239.

Pokorný, J., Hesslerová, P. (2022): Aktivní úloha vzrostlého lesa v klimatu, oběhu vody a zadržování živin. Sovak 7-8, S. 12-21.

Hesslerová, P., Huryna, H., Pokorný, J., Vyskot, I., Kozumplíková, A. (2022): Změny klimatizační funkce lesních porostů jako následek jejich plošného odumření po gradaci lýkožrouta smrkového. Zprávy lesnického výzkumu 67(1), S. 311 - 320.

Pokorný, J., Hesslerová, P. (2019): Jak vysycháme – aneb, opravdu „kazí rybníky hydrologickou bilancí“? Rybníkářství, 37, S. 6 – 9.

#### **Kontakte:**

ENKI, o.p.s.  
Dukelská 145  
379 01 Třeboň

[pokorny@enki.cz](mailto:pokorny@enki.cz)

[hesslerova@enki.cz](mailto:hesslerova@enki.cz)

[jirka@enki.cz](mailto:jirka@enki.cz)