

## Inhoudsopgave

Warmtestraling en het zwarte lichaam .....	2
Het emissiespectrum verandert met temperatuur .....	2
<b>De Stralingswet van Wien .....</b>	<b>2</b>
<i>Wat betekent deze wet fysiek?</i> .....	3
<i>Voorbeelden uit de werkelijkheid</i> .....	4
<b>1. Verhitte metalen</b> .....	4
<b>2. De kleur van sterren</b> .....	4
<b>3. Warmtecamera's</b> .....	4
<i>Waarom is Wien's wet belangrijk voor uitstraling?</i> .....	4
<i>Conclusie</i> .....	4
<b>Hoe oppervlakken afkoelen: autodaken en daken van woningen.....</b>	<b>5</b>
1. <i>Overdag: opwarming door zonnestraling</i> .....	5
2. <i>'s Nachts: afkoeling door uitstraling</i> .....	5
<i>Uitstraling naar de hemel</i> .....	6
<b>Waarom de hemel zo belangrijk is</b> .....	6
3. <i>Het belang van emissiviteit</i> .....	6
4. <i>Wolken en luchtvochtigheid</i> .....	7
5. <i>Radiatieve afkoeling: zelfs onder de luchttemperatuur</i> .....	8
6. <i>Vergelijking: autodak vs. woningdak</i> .....	8
Autodak .....	8
Woningdak.....	8
7. <i>Wien's wet in dit geheel</i> .....	8
<i>Conclusie</i> .....	9
<b>Waarom autodaken en woningdaken 's nachts afkoelen .....</b>	<b>9</b>
<i>En wat Wien's stralingswet daar mee te maken heeft</i> .....	9
1. <i>Overdag: de zon warmt alles op</i> .....	9
2. <i>'s Nachts: straling naar de "koude hemel"</i> .....	9
Figuur 1: Warmtestraling van een oppervlak 's nachts.....	10
3. <i>Waar past de stralingswet van Wien in?</i> .....	10
Figuur 2: Wien's wet en het infraroodvenster .....	10
<i>Waarom daken sneller kunnen afkoelen dan de lucht</i> .....	11
Figuur 3: <i>Waarom rijp ontstaat boven nul</i> .....	11
5. <i>Autodak vs. woningdak — wie koelt sneller af?</i> .....	11
🚗 Autodak .....	11
🏠 Woningdak .....	11
Figuur 4: <i>Emissiviteit van materialen (indicatie)</i> .....	11
6. <i>Rol van wolken: een natuurlijke warmtedeken</i> .....	12
Figuur 5: <i>Effect van wolken</i> .....	12

Samenvatting.....	12
1. Voorbeeldgrafiek: nachtelijke afkoeling van een autodak.....	12
2. Grafiek: vergelijking afkoeling autodak vs. pannendak .....	13
3. Voorbeeldberekening: afkoeling met de stralingswet .....	13
4. Grafiek: Wien-piek als functie van temperatuur .....	14
5. Grafiek: hemelstraling bij heldere vs. bewolkte nacht .....	14
6. Voorbeeld: radiatieve afkoeling in getallen.....	14
7. Mini-casus: waarom staat er rijp op daken bij +3°C? .....	15

Wanneer een object warmte uitstraalt, gebeurt dat via elektromagnetische straling. Elk object met een temperatuur boven het absolute nulpunt zendt straling uit. Deze warmtestraling vormt de basis van talloze natuurkundige en technologische toepassingen, van infraroodcamera's tot astronomie. Een van de belangrijkste natuurwetten die deze straling beschrijft, is de **stralingswet van Wien**.

## Warmtestraling en het zwarte lichaam

Om de relatie tussen temperatuur en uitstraling te begrijpen, wordt in de natuurkunde vaak het concept van een *zwart lichaam* gebruikt.

Een zwart lichaam is een ideaal object dat:

- **Alle invallende straling volledig absorbeert**, en
- **Zelf straling uitzendt die afhankelijk is van zijn temperatuur**, volgens een welbepaald spectrum.

Hoewel perfecte zwarte lichamen niet in de praktijk bestaan, vormen ze een nuttig model om werkelijke stralers zoals sterren, verwarmde metalen of gloeidraden te beschrijven.

## Het emissiespectrum verandert met temperatuur

Wanneer een object warmer wordt:

1. **Wordt de totale uitgestraalde energie groter**, en
2. **Verschuift het maximum van het stralingsspectrum naar kortere golflengten**.

Dit betekent dat een koud object vooral in het infrarood uitstraalt, terwijl een zeer heet object zichtbaar licht gaat produceren.

Deze verschuiving wordt exact beschreven door de **stralingswet van Wien**.

## De Stralingswet van Wien

De stralingswet van Wien (ook wel Wien's verplaatsingswet) zegt dat er een eenvoudige relatie bestaat tussen de temperatuur van een zwart lichaam en de golflengte waarbij het object de meeste straling uitzendt:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

waarbij:

- $\lambda_{\max}$  = golflengte van maximale emissie
- $T$  = temperatuur in Kelvin
- $b$  = verplaatsingsconstante van Wien  $\approx 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

## Wat betekent deze wet fysiek?

- Als **T stijgt**, wordt  $\lambda_{\max}$  **kleiner** → het piekpunt verschuift naar **blauwer licht**.
- Als **T daalt**, wordt  $\lambda_{\max}$  **groter** → het piekpunt verschuift naar **roder licht**.

met

$u_{\lambda}$  de stralingsdichtheid

$C$  en  $c$  twee constanten (met  $c$  wordt hier *niet* de lichtsnelheid bedoeld)

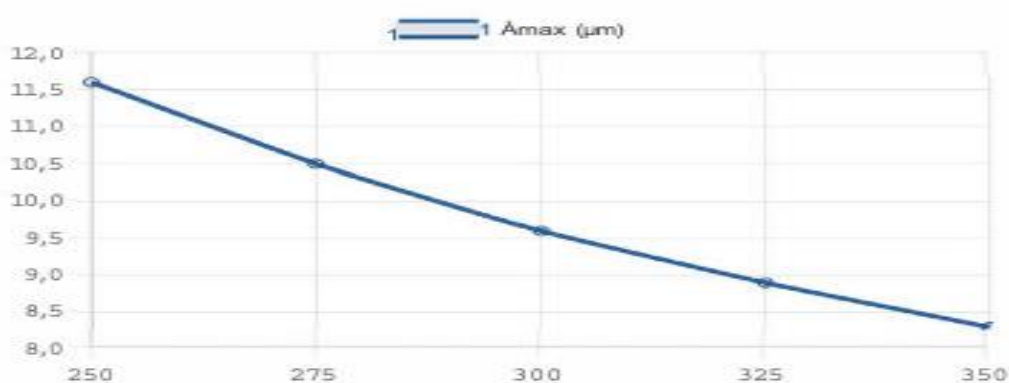
$\lambda$  golflengte in [meter](#)

$e$  het grondgetal van de [natuurlijke logaritme](#)

$T$  temperatuur in [kelvin](#)

## De stralingswet van Wien

$$\lambda_{\max} = b / T \dots$$



Piekgolflengte  $\lambda_{\max}$  als functie van temperatuur.

Voorbeelden uit de werkelijkheid

## 1. Verhitte metalen

Een stuk metaal wordt bij verhitting eerst donkerrood, dan oranje-rood en uiteindelijk wit. Dat komt doordat:

- bij lage temperatuur de piekgolflengte in het infrarood ligt,
- en bij hogere temperatuur richting zichtbaar licht verschuift.

## 2. De kleur van sterren

De kleur van een ster hangt direct samen met Wien's wet:

- Koelere sterren (ca. 3.000 K) → roodachtig
- Onze zon (ca. 5.800 K) → geel-wit
- Heetste sterren (>10.000 K) → blauw

Astronomen kunnen zo de oppervlaktetemperatuur van sterren bepalen door hun spectrum te meten.

## 3. Warmtecamera's

Warmtecamera's detecteren infraroodstraling.

Voor objecten met temperaturen tussen 0 en 500 °C ligt het emissiemaximum in het infraroodgebied, precies waar deze camera's gevoelig zijn.

---

## Waarom is Wien's wet belangrijk voor uitstraling?

Wien's wet biedt inzicht in:

- **Welke golflengtes een object vooral uitzendt**
- **Hoe de uitstraling verandert met temperatuur**
- **Hoe emissie-spectra er grofweg uitzien** zonder de volledige Planck-vergelijking te moeten gebruiken

Voor veel praktische toepassingen – zoals temperatuurmetingen op afstand of het analyseren van warmtestraling – is deze eenvoudige relatie enorm krachtig.

---

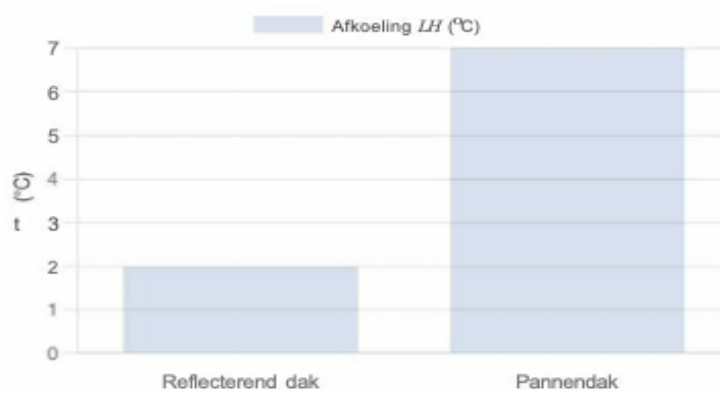
## Conclusie

De stralingswet van Wien laat zien dat de temperatuur van een object rechtstreeks bepaalt **waar** in het elektromagnetisch spectrum het object de meeste energie uitstraalt. Door deze wet kunnen we de uitstraling van objecten begrijpen, voorspellen en meten, variërend van technische materialen tot sterren aan de hemel. Het is daarmee een van de fundamentele principes in de thermische stralingsfysica.

## Emissiviteit van materialen en invloed op daken

De emissiviteit E ...

Materiaal	Emissiviteit f
Bitumen / baksteen	0,90 - 0,95
Dakpan keramisch	0,85 - 0,95
Reflecterend metalen dak	0,20 - 0,50
Gepolijst metaal	0,05 - 0,20



**Figuur** Vergelijking van nachtelijke afkoeling tussen een reflecterend metalen dak en een pannendak.

- **Zonnestraling** (meestal tussen 0,3 en 2,5  $\mu\text{m}$ )
- **Warmtegeleiding** vanuit de lucht
- **Convectie** door warme luchtstromen

Donkere oppervlakken (zoals zwarte autodaken of zwarte bitumen daken) absorberen een groot deel van deze inkomende straling en kunnen zeer heet worden—soms boven 70 °C. Lichtere oppervlakken reflecteren meer zonlicht en blijven koeler, maar **alle oppervlakken stralen zelf warmte uit**, ongeacht hun kleur.

## 2. 's Nachts: afkoeling door uitstraling

Wanneer de zon ondergaat, valt de inkomende straling weg en blijft **netto-warmteverlies** over. Dit verlies verloopt langs drie kanalen:

1. **Uitstraling naar de koude hemel** (belangrijkste mechanisme)
2. **Convectie** naar de koelere lucht
3. **Geleiding** naar onderliggende materialen

## Hoe oppervlakken afkoelen: autodaken en daken van woningen

Oppervlakken zoals autodaken, schuurdaken en woningdaken warmen overdag op door zonlicht en koelen 's nachts weer af. Dit afkoelingsproces wordt grotendeels bepaald door **thermische uitstraling**, een verschijnsel dat direct verband houdt met de stralingswet van Wien en de algemene theorie van warmtestraling.

### 1. Overdag: opwarming door zonnestraling

Overdag ontvangt een oppervlak:

## Uitstraling naar de hemel

De hemel is vanuit stralingsperspectief *extreem koud*—effectief rond **−50 tot −60 °C** (soms zelfs lager bij droge, wolkeloze lucht). Daardoor kan een oppervlak veel warmte uitstralen naar deze “koude bron”.

Volgens Wien:

- Een dak van 20 °C (293 K) straalt vooral rond **10 μm** uit (in het infraroodgebied)
- Hoe warmer het oppervlak, hoe kortgolfiger en sterker de emissie wordt

Daken en autodaken verliezen dus constant warmte via infrarood-uitstraling.

### Waarom de hemel zo belangrijk is

Behalve dat oppervlakken naar de lucht uitstralen, “zien” ze vooral de *hemelkoepel*, die in het infrarood nauwelijks terug straalt (behalve wanneer er wolken zijn).

Dit zorgt voor een **sterke netto-warmtestroom naar boven**.

---

## 3. Het belang van emissiviteit

Niet elk oppervlak straalt even goed uit. De **emissiviteit** ( $\varepsilon$ ) geeft aan hoe efficiënt een materiaal straling uitzendt, tussen 0 en 1.

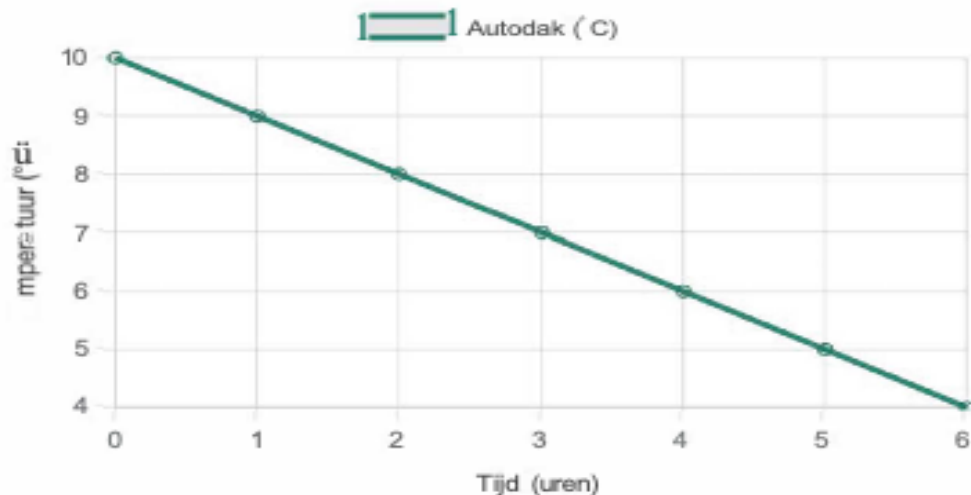
- **Zwart metaal / bitumen / baksteen:**  $\varepsilon \approx 0,9\text{--}0,95$  → sterke uitstraling → sneller afkoelen
- **Blank metaal (gepolijst aluminium, autolak met metallic flakes):**  $\varepsilon \approx 0,05\text{--}0,3$  → zwakke uitstraling → minder nachtelijke afkoeling

Dat verklaart bijvoorbeeld:

- Waarom **metalen autodaken** soms langer warm blijven
- Waarom **tegeldaken beter afkoelen** dan metalen dakplaten
- Waarom **zwarte dakbedekking** snel energie uitstraalt maar overdag ook snel opwarmt

## Nachtelijke radiatieve afkoeling van autodaken

Overdag warmt een autodak op door zoninstraling; 's nachts domineert de uitstraling naar de hemel.



*Figuur* Temperatuurverloop van een autodak tijdens een heldere, windstille nacht. Door uitstraling naar de koude hemel koelt het oppervlak enkele graden verder af dan de omgevingslucht.

•

---

## 4. Wolken en luchtvochtigheid

Wolken werken als een soort **warmtedeken**.

- Wolken zenden veel infrarood terug naar het oppervlak
- Daardoor is de netto-uitstraling kleiner
- Oppervlakken koelen **veel minder snel** af

Bij een heldere, droge nacht is het warmteverlies veel groter door de lage “hemelstraling”.

Dit verklaart waarom:

- Autodaken bij heldere nachten veel sneller afkoelen
- Gras en autodaken kunnen bevriezen terwijl de luchttemperatuur nog **boven nul** is
- Bij bewolkte nachten nauwelijks dauw of rijp ontstaat

## 5. Radiatieve afkoeling: zelfs onder de luchttemperatuur

Een bijzonder gevolg van infrarood-uitstraling is dat oppervlakken **kouder kunnen worden dan de omgevingslucht**.

Dit komt doordat de lucht boven het object warmer is dan de effectieve stralingstemperatuur van de hemel.

Voorbeelden:

- Autodaken zijn 's ochtends kouder aan dan de lucht
- Autoruiten eveneens en kunnen rijp vormen bij +2 °C buitentemperatuur
- Daken met donkere, stralings-efficiënte materialen kunnen sterk afkoelen

Dit verschijnsel heet **radiatieve overkoeling**.

---

## 6. Vergelijking: autodak vs. woningdak

### Autodak

- Dun materiaal (staal of aluminium) → weinig warmte-inhoud
- Lage emissiviteit bij metallic lak → matige nachtelijke uitstraling
- Koelt snel af door lage massa, maar stopt eerder door lage emissiviteit
- Kan sterk afkoelen door veel "zicht" naar de hemel (geen schaduw van omliggende objecten)

### Woningdak

- Grote warmte-inhoud (baksteen, isolatie, dakpannen)
  - Vaak hoge emissiviteit → sterk uitstralend
  - Betere thermische traagheid → koelt langzamer maar constanter
  - Grote oppervlakken kunnen liters water per nacht condenseren of zelfs rijp vormen
- 

## 7. Wien's wet in dit geheel

Hoewel Wien's wet vooral de *golflengte van maximale emissie* beschrijft, speelt hij indirect een rol in het afkoelgedrag:

- Een oppervlak van 10–40 °C straalt vooral uit rond 8–12 μm
- Dit gebied valt precies binnen het **atmosferische venster**: golflengtes waarop lucht nauwelijks straling absorbeert
- Dus: **bij deze temperaturen kan warmte zeer efficiënt naar de ruimte ontsnappen**

Het "IR-venster" (8–13 μm) is dus cruciaal voor nachtelijke afkoeling van daken en autodaken.

---

## Conclusie

De afkoeling van autodaken en woningdaken wordt gedomineerd door **thermische uitstraling naar de koude hemel**, een proces dat:

- sterk afhankelijk is van emissiviteit,
- beïnvloed wordt door luchtvochtigheid en wolken,
- leidt tot afkoeling beneden luchttemperatuur,
- zichtbaar wordt via Wien's wet: oppervlakken stralen vooral in het 10  $\mu\text{m}$  gebied, precies waar de atmosfeer doorlaatbaar is.

## Waarom autodaken en woningdaken 's nachts afkoelen

### *En wat Wien's stralingswet daar mee te maken heeft*

We weten allemaal dat auto's en daken overdag bloedheet kunnen worden—maar 's nachts juist opvallend snel afkoelen. Soms staat er zelfs **rijp op een autodak terwijl de luchttemperatuur boven nul is**. Hoe kan dat?

Het korte antwoord: **ze stralen warmte uit naar de ijsskoude hemel**, en de natuurkunde—waaronder de **stralingswet van Wien**—legt precies uit hoe dit werkt.

---

### 1. Overdag: de zon warmt alles op

De zon straalt licht uit in een breed spectrum, van ultraviolet tot infrarood. Oppervlakken absorberen een deel van die energie en worden warm.

- Zwarte auto → absorbeert bijna al het zonlicht
- Witte auto → kaatst veel terug, blijft koeler

Maar, ongeacht de kleur, beginnen alle oppervlakken ook **zelf straling uit te zenden** zodra ze warm zijn. Dat is warmtestraling.

---

### 2. 's Nachts: straling naar de “koude hemel”

Wanneer de zon weg is, gebeurt er iets indrukwekkends:

🏠 Een dak of autodak **straalt warmte uit naar de hemel**, die effectief een temperatuur heeft van *min tientallen graden*.

De belangrijkste speler hierbij is **infraroodstraling**.

## Figuur 1: Warmtestraling van een oppervlak 's nachts

Daktemperatuur (~290 K)

↓

Uitstraling vooral in 8-12  $\mu\text{m}$  (infrarood)

↓

Atmosferisch venster → weinig absorptie door lucht

↓

Koude hemel (~220 K of kouder)

→ Netto warmteverlies

De lucht boven ons werkt een beetje als een gordijn. Soms is het doorzichtig (heldere lucht) en kan warmte makkelijk wegstralen. Soms werkt het als een deken (bewolking).

- **Heldere nacht** → sterke afkoeling
- **Bewolkte nacht** → bijna geen afkoeling

Daarom ontstaat er *rijp op auto's vooral op heldere nachten*.

---

## 3. Waar past de stralingswet van Wien in?

Een object op kamertemperatuur (bijvoorbeeld een dak van 10–40 °C) zendt vooral uit op een golflengte van ongeveer:

**10 micrometer**

Dat blijkt uit Wien's wet:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$$

Met  $T \approx 290 \text{ K} \rightarrow \lambda_{\text{max}} \approx 10 \mu\text{m}$ .

En laat dat nu precies in het “**atmosferische venster**” vallen: een bereik van golflengtes waarin de lucht bijna geen infrarood absorbeert.

☞ Dat betekent: **warmte vliegt ongehinderd de ruimte in.**

## Figuur 2: Wien's wet en het infraroodvenster

Golflengte ( $\mu\text{m}$ )

|----Zichtbaar licht----|-----Infrarood-----|  
0.4      0.7                      5      8      10      12      20

Temperatuur dak: ~290 K

↓

Piekstraling  $\approx 10 \mu\text{m}$  → Door atmosfeer-transparant

Door deze “snelweg naar de ruimte” koelen autodaken en woningdaken 's nachts effectief af.

---

## Waarom daken sneller kunnen afkoelen dan de lucht

Hier gebeurt iets verrassends:

🏠 Een oppervlak kan **kouder worden dan de omgevingslucht**.

Hoe?

- De lucht boven het dak is misschien  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Maar de hemel "straalt" terug alsof hij  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  is
- Netto warmteverlies → oppervlak koelt onder de luchttemperatuur

Dit heet **radiatieve overkoeling**.

Daarom kan:

- een autodak bevroren bij  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- een tent nat worden van condens terwijl de lucht niet verzadigd is,
- een woningdak 's ochtends rijp hebben terwijl de thermometer dat niet voorspelt.

### Figuur 3: Waarom rijp ontstaat boven nul

Lucht:  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dak straalt → koelt naar  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$

↓

Waterdamp condenseert

↓

Bevriezen → rijpvorming

---

## 5. Autodak vs. woningdak — wie koelt sneller af?

### 🚗 Autodak

- Dun metaal → weinig warmte-inhoud
- Lage emissiviteit bij metallic lak → straalt minder efficiënt
- Koelt snel af door lage massa
- Maar stopt eerder met afkoelen door lage emissiviteit

### 🏠 Woningdak

- Dakpannen / bitumen → hoge emissiviteit
- Grote massa → koelt trager maar langer door
- Sterke netto uitstraling → kan *veel kouder* worden dan lucht
- Meer kans op dauw en rijp

### Figuur 4: Emissiviteit van materialen (indicatie)

Materiaal                      Emissiviteit ( $\epsilon$ )

-----

Baksteen	0.90 - 0.95
Bitumen	0.90
Dakpannen	0.85 - 0.95
Lak (auto)	0.30 - 0.80
Gepolijst metaal	0.05 - 0.20

Hoe hoger de emissiviteit → hoe beter de afkoeling.

## 6. Rol van wolken: een natuurlijke warmtedeken

Wolken zenden veel infraroodstraling terug naar het oppervlak.

- **Heldere hemel:** afkoeling is sterk
- **Wolken:** stralingsbalans bijna nul → dak blijft warmer

### Figuur 5: Effect van wolken

Heldere nacht:

Dak → → → (veel warmte weg naar de ruimte)

Bewolkte nacht:

Dak → → (warmte botst op wolken, wordt teruggestraald)

Daarom zijn koude nachten met rijp bijna altijd helder.

## Samenvatting

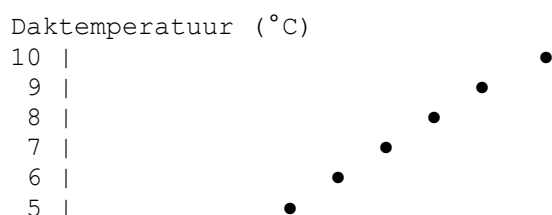
Autodaken en woningdaken koelen 's nachts af doordat ze:

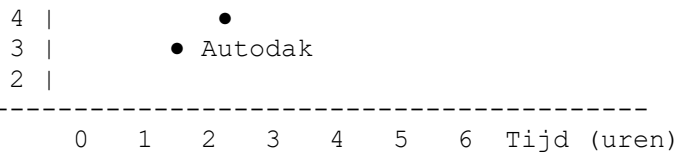
1. **Warmte uitstralen in infrarood, vooral rond 10  $\mu\text{m}$**
2. **Deze straling makkelijk kwijt kunnen aan de koude hemel**
3. **Daarbij sneller energie verliezen dan ze van de lucht terugkrijgen**
4. **Soms zelfs onder de luchttemperatuur zakken (radiatieve overkoeling)**

De **stralingswet van Wien** laat zien *waar* in het spectrum die straling zit—en precies dat deel van het licht gaat vrijwel ongehinderd de ruimte in.

### 1. Voorbeeldgrafiek: nachtelijke afkoeling van een autodak

Deze grafiek laat zien hoe een autodak bij een **heldere, windstille nacht** kan afkoelen tot **3–6°C onder de luchttemperatuur**.



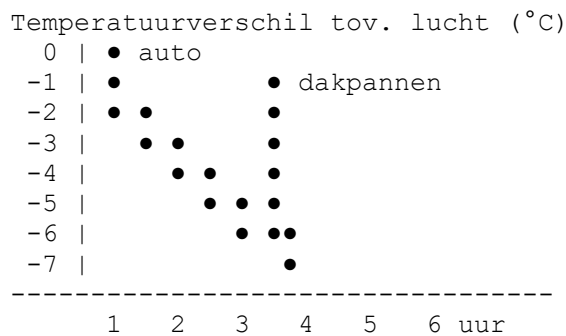


### Interpretatie:

- Start: dak was nog warm van overdag
- 6 uur later: dak is  $\sim 4^\circ\text{C}$  onder de lucht
- Bij perfecte condities zakt het soms  $6^\circ\text{C}$  of meer

## 2. Grafiek: vergelijking afkoeling autodak vs. pannendak

Keramische dakpannen hebben een hoge emissiviteit ( $\epsilon \approx 0.9$ ).  
Lak op autodaken ligt lager ( $\epsilon \approx 0.4\text{--}0.7$  bij metallic lak).



### Conclusie:

- **Autodak:**  $2\text{--}5^\circ\text{C}$  afkoeling
- **Pannendak:**  $4\text{--}9^\circ\text{C}$  afkoeling

## 3. Voorbeeldberekening: afkoeling met de stralingswet

Bij een autodak van **290 K** ( $17^\circ\text{C}$ ) zegt Wien:

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{290} \approx 10 \mu\text{m}$$

☞ Dit ligt precies in het atmosferisch venster  $\rightarrow$  sterke afkoeling.

### Aantal watt dat een dak uitstraalt:

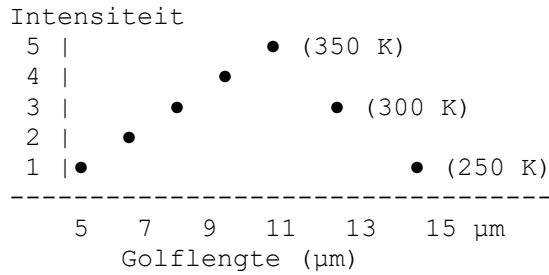
Ruwe benadering:

$$P = \epsilon \sigma T^4$$

- Autolak ( $\epsilon = 0.6$ ):  $\sim 350 \text{ W/m}^2$
- Dakpan ( $\epsilon = 0.9$ ):  $\sim 520 \text{ W/m}^2$

Dit verklaart waarom pannendaken sterker afkoelen.

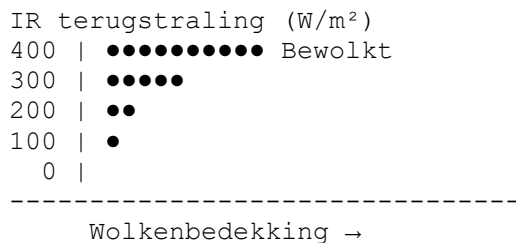
#### 4. Grafiek: Wien-piek als functie van temperatuur



#### Uitleg:

- Hoe warmer het oppervlak, hoe meer uitstraling
- De piek blijft rond 8–12  $\mu\text{m}$  voor typische daktemperaturen
- Atmosfeer is juist dáár het meest doorzichtig

#### 5. Grafiek: hemelstraling bij heldere vs. bewolkte nacht



#### Betekenis:

- **Heldere hemel:** weinig IR terug  $\rightarrow$  sterk afkoelen
- **Bewolkt:** veel IR terug  $\rightarrow$  bijna geen afkoeling

Bij bewolking koelen autodaken nauwelijks onder de lucht.

#### 6. Voorbeeld: radiatieve afkoeling in getallen

Bij een heldere, droge nacht:

Object	Emissiviteit	Afkoeling lager dan de lucht	Opmerkingen
Autodak (metallic lak)	0.4–0.7	2–6°C	Lage massa, midden emissief
Pannendak	0.85–0.95	4–10°C	Zeer hoge emissiviteit
Plat dak bitumen	0.9	3–8°C	Warmt overdag veel op
Grasveld	bijna 1	4–12°C	Daarom vaak dauw/rijp

## 7. Mini-casus: waarom staat er rijp op daken bij +3°C?

### Situatie:

- Lucht: +3°C
- Hemelstraling: effectief –50°C
- Nacht: helder, geen wind
- Dakpan emissiviteit  $\epsilon = 0.92$

► Dak koelt af tot –2°C

► Waterdamp condenseert → bevroest → **rijp**

Daktemperatuur (~290 K)

↓

Uitstraling vooral in 8–12  $\mu\text{m}$  (infrarood)

↓

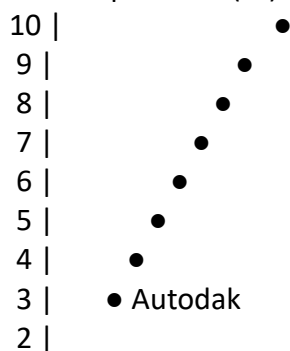
Atmosferisch venster → weinig absorptie door lucht

↓

Koude hemel (~220 K of kouder)

→ Netto warmteverlies

Daktemperatuur (°C)

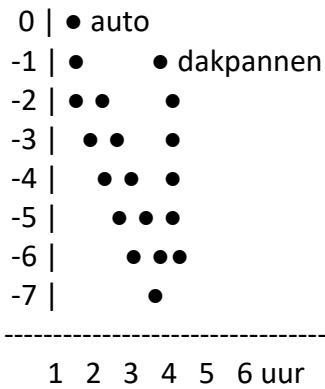


0 1 2 3 4 5 6 Tijd (uren)

Keramische dakpannen hebben een hoge emissiviteit ( $\epsilon \approx 0.9$ ).

Lak op autodaken ligt lager ( $\epsilon \approx 0.4–0.7$  bij metallic lak).

Temperatuurverschil tov. lucht (°C)



Conclusie:

Autodak: 2–5°C afkoeling

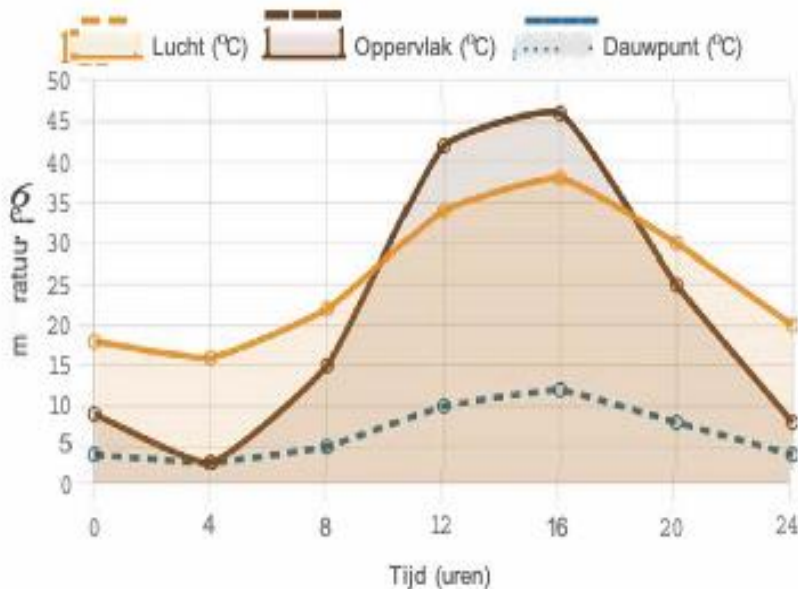
Pannendak: 4–9°C afkoeling

## Condens in de woestijn

Een bijzondere situatie vinden we in de woestijn. Het is droog, maar door de afkoeling 's nachts bereikt de luchttemperatuur het dauwpunt. Diverse insecten en micro-organismen kunnen op dat beetje water leven.

### Afkoeling door uitstraling in woestijngebieden

Droge lucht, open atmosferisch venster ...



*Figuur Lucht-, oppervlak- en dauwpuntstemperatuur in de woestijn.*