

# Handreichung zum Einsatz stationärer meteorologischer Stationen an Klimaschulen



[https://www.bresser.de/Wetter-Zeit/WLAN-Wetterstationen-center/BRESSER-WLAN-Comfort-Wettercenter-mit-7-in-1-Profi-Sensor-und-modernem-Farbdisplay.html?mtm\\_campaign=Doofinder&mtm\\_kwd=7003300&mtm\\_source=German&mtm\\_medium=OnSite&mtm\\_cid=Germany&mtm\\_group=SiteSearch](https://www.bresser.de/Wetter-Zeit/WLAN-Wetterstationen-center/BRESSER-WLAN-Comfort-Wettercenter-mit-7-in-1-Profi-Sensor-und-modernem-Farbdisplay.html?mtm_campaign=Doofinder&mtm_kwd=7003300&mtm_source=German&mtm_medium=OnSite&mtm_cid=Germany&mtm_group=SiteSearch) (zuletzt aufgerufen am 17.03.2022)

Dieser Fachbeitrag beinhaltet Auszüge aus Goldberg V., Moderow U., Queck R., Ziemann A. (2021): Konzept zum Einsatz stationärer meteorologischer Stationen an Klimaschulen und zur Durchführung mobiler Messungen (Projektwochen an Klimaschulen und im Rahmen von Stadtklimauntersuchungen des LfULG). Unveröffentlichter Projektabschlussbericht, Tharandt.

## Veranlassung:

Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) leitet seit 01.01.2021 die AG Klimaschulen des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft und des Sächsischen Staatsministeriums für Kultus und ist zudem für die Ausreichung der Finanzmittel an die Klimaschulen zuständig.

Das LfULG ist ebenfalls mit der Beratung von Kommunen bei der Anpassung an den Klimawandel und der Sensibilisierung der Öffentlichkeit im Hinblick auf Klimawandel und seine Folgen beauftragt. Zum innerstädtischen Überwärmungseffekt liegen noch keine detaillierten Daten, sondern nur grobe Modellergebnisse vor. Zusätzliche Messdaten zur Validierung der Modellierung werden deshalb benötigt, um Maßnahmen zur schnelleren Anpassung an den Klimawandel entwickeln zu können. Das LfULG verfolgt dabei das Ziel, Bürgerinnen und Bürger, insbesondere Schülerinnen und Schüler für die Klimafolgen in ihrem Umfeld durch die Beschäftigung mit meteorologischen Messwerten und deren Veränderung zu sensibilisieren sowie zusätzliche Klimadaten zur Verifizierung von Modellergebnissen zum Stadtklima zu gewinnen.

Im Rahmen dieser Handreichung werden Anforderungen an die Erfassung von meteorologischen Daten an Schulen sowie fachlich begründete Vorschläge für Messstationen vorgestellt.

**Die Auswahl der Stationen erfolgte nach dokumentierten Kriterien wie u.a. technischen Kriterien, der Sensorqualität, der Dateneinbindung, dem Anschaffungspreis, der Austauschbarkeit von Einzelteilen und der Teileverfügbarkeit. Sie spiegelt die Marktlage zum Zeitpunkt der Projektdurchführung wieder, erhebt jedoch keinen Anspruch auf eine vollständige Marktanalyse.**

## Anforderungen an die Messung meteorologischer Daten zur Ableitung von Stadtklima-Effekten

Für die Feststellung und Bewertung des Stadtklimas und seines Einflusses vor allem auf Menschen werden verschiedene meteorologische Größen gemessen, u. a. die solare und terrestrische Strahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung. Alle meteorologischen Größen unterliegen zeitlichen Schwankungen im Bereich von Sekunden bis zu mehreren Minuten und Stunden. Für viele Fragestellungen der angewandten Klimatologie sind **zeitliche Mittelwerte** zielführend. Typische Mittelungsintervalle betragen, abhängig von der Zielstellung der Datenanalyse und der Dauer der analysierten Zeitreihe, 10, 30 oder 60 min. Um die hohe raum-zeitliche Variabilität der meteorologischen Größen im urbanen Raum wiederzugeben, werden häufig 10-min-Mittelungen durchgeführt (z. B. VDI 3786-3, 2012).

Die zeitliche und räumliche Charakteristik der meteorologischen Größen wird durch die **Eigenschaften der Umgebung** geprägt. Dieser Zusammenhang ist für die Aufstellung stationärer Wetterstationen zu berücksichtigen. Die wesentlichen meteorologischen Größen für das Stadtklima sowie human-biometeorologische Bewertungen sind in der folgenden Tabelle 1 in ihren wesentlichen Abhängigkeiten von der Umgebung dargestellt.

**Tabelle 1: Meteorologische Größen und ihre wesentlichen Abhängigkeiten von Umgebungseigenschaften im urbanen Raum (nach VDI3786-1, 2013).**

Eigenschaft der Umgebung / Größe	Strahlung	Lufttemperatur	Luftfeuchte	Wind
Flächennutzung	x	x	x	x
Bebauungsdichte	x	x	x	x
Horizonteinengung	x	x		
Albedo	x	x		
Bewölkung	x	x		
Luftbeimengungen	x			

## Messplanung

Für alle Arten von Messungen an Klimaschulen mit stationären Stationen in den Stadtgebieten legt ein **Messplan** folgende Punkte fest:

- Beschreibung von Aufgabe und Ziel der Messungen
- Festlegung der Messgrößen, des Messsystems (Geräte bzw. Sensoren, Kalibrierung und Gerätevergleich, Zusatzgeräte, Geräteträger, Stromversorgung, Verbrauchsmaterial)
- Festlegung von Messort(en), -dauer, -zeit, -häufigkeit
- Verfahren zur Erfassung (mit Stationsbetrieb und Wartung), Speicherung, Übertragung, Sicherung, Auswertung und statistischen Bearbeitung der Messdaten
- Angaben zur Messunsicherheit, der statischen und dynamischen Kenngrößen des Messsystems (Empfindlichkeit und Zeitverhalten der Sensoren) und zur zeitlichen und räumlichen Repräsentativität (Bezug zur Messaufgabe)

## Aufstellung der Messgeräte

- Die zu messende Größe darf **weder durch das Gerät noch durch Geräteträger, Energieversorgung und Sicherungssysteme** (z. B. Blitzschutz, Diebstahlsicherung) **beeinträchtigt** werden.
- Das Messsystem muss eine Möglichkeit zur **Datenspeicherung** (z. B. Datenlogger, Computer in der Peripherie, direkter Anschluss an Server) vorsehen.
- Die **Stromversorgung** des Messsystems muss gesichert sein. Geeignete Maßnahmen gegen Netzspannungsausfall sollten getroffen werden (z. B. USV). Ein **Blitzschutz** muss vorhanden sein. Das System muss vor Diebstahl bzw. Vandalismus geschützt werden. Eine Möglichkeit zur **Fernübertragung** der Daten muss vorhanden sein (Übersicht zu drahtgebundenen und drahtlosen Möglichkeiten: Tabelle 2 in VDI 3786-1, 2013).

- Geeignetes Personal ist für **Kontrolle, Wartung, Pflege und Reparatur, Datenkontrolle und -verarbeitung** einzuplanen (mit Stellvertreter-Regelung).
- Dabei ist auch eine **Kalibrierung oder** zumindest eine **Vergleichsmessung** mit kalibrierten Geräten vorzusehen. Bei außergewöhnlichen Ereignissen, die z. B. zu Verschmutzungen oder mechanischen Beeinträchtigungen des Sensors führen, ist die Vergleichsmessung sofort durchzuführen. Eine schleichende Abweichung des Anzeigewertes vom wahren Messwert soll damit vermieden werden.
- Bei allen Tätigkeiten an der Station ist ein Protokoll zu führen (**Stationstagebuch**). Damit können auch Datenausfälle dokumentiert und später bei der Auswertung reproduziert werden.
- Zufahrt bzw. Zugang zum Messsystem müssen für die befugten Personen gewährleistet sein.

## Verarbeitung und Sicherung der Daten

Insbesondere die Primärdaten sollten zeitlich unbefristet archiviert werden, um die Rückverfolgbarkeit später abgeleiteter Daten zu gewährleisten. Ein Verfahren für die **Datensicherung** ist automatisiert einzurichten. Ein Sicherungssystem sollte räumlich getrennt aufbewahrt werden. Die gemittelten weiterverarbeiteten Daten sollten mit wesentlichen statistischen Maßzahlen abgelegt werden.

### Die weitere statistische Auswertung kann beinhalten (siehe Tabelle 2):

- Extremwerte (Perzentile)
- Mittelwerte (Tag, Monat, Jahreszeit, Jahr)
- Klimatologische Kenntage (Schwellwertüber- oder -unterschreitung)

**Tabelle 2: Meteorologische Größen und statistische Aufbereitung (nach VDI 3786-1, 2013)**

Größe	Bezugsintervall (Beispiel)	Statistische Maßzahlen
Strahlung	10 min	Summe über Zeit
Lufttemperatur	10 min	Mittel, Streuung, Maximum, Minimum
Luftfeuchte	10 min	Mittel, Streuung, Maximum, Minimum
Wind	10 min	Mittel, Streuung, Maximum (Geschwindigkeit)

## Vorschlag 1, Handelsübliche Komplettstation

### Stationsbeschreibung:

Von der großen Zahl der im Handel angebotenen Komplettstationen kommen aufgrund der berücksichtigten Kriterien nur die sogenannten "Profi-Stationen" in Frage. Die Qualität des Aufbaus und der Sensoren liegt ungeachtet des Namens im mittleren Amateurbereich.



<https://www.bresser.de/Wetter-Zeit/Wettercenter/BRESSER-Profi-WLAN-Wetter-Center-7in1-mit-Lichtintensitaet-und-UV-Messung.html> (zuletzt aufgerufen am 16.03.2022)

Die meisten dieser Stationen bestehen aus einer Basisstation mit Netzteil, einem Thermohygrosensor für den Innenbereich und einem Multisensor für den Außenbereich. Die Multisensoren erfassen dabei Temperatur, Luftfeuchte, Lichtintensität, Windgeschwindigkeit und Niederschlag. Eine für den Gebrauch an Schulen geeignete Wetterstation ist der EXPLORE SCIENTIFIC Profi WLAN Wetter Center von BRESSER. Der 7-in-1 Multisensor für den Außenbereich erfasst zusätzlich zu den genannten Größen noch Luftdruck und UV-Einstrahlung.

Die Genauigkeit der Sensoren liegt für Temperatur, Luftfeuchte und Wind in den oben genannten Bereichen. Beim Niederschlag beträgt die Auflösung nur 0,254 mm und die Genauigkeit pro Ereignis 7%, diese Werte liegen jedoch noch im üblichen Fehlerbereich durch Windeinfluss, Benetzung und Verdunstung. Der Multisensor verfügt weiterhin über einen belüfteten Strahlungsschutz (Wetterhütte) für den Thermohygrosensor, der durch ein kleines Solarpanel betrieben wird. Dieses Feature ist selten und senkt den Strahlungsfehler deutlich. Die Montage im Außenbereich ist einfach auf einem Mast oder an einem Standfuß (Rohrdurchmesser ca. 25 – 33mm). Der Thermohygrosensor für den Innenbereich ist mit einer Wandhalterung bzw. einem Tischaufsteller ausgestattet. Die Stromversorgung der Sensoren erfolgt mit handelsüblichen AA Batterien (oder Akkus). Ein Austausch wird je nach Kapazität der Batterie oder Akkus nach frühestens einem halben Jahr erwartet.

Die Basisstation zeigt die direkt gemessenen Werte und eine Vielzahl abgeleiteter Größen an, unter anderem gefühlte Temperatur, Taupunkt, Wärmeindex, Windchillfaktor, einige Größen auch mit grafischer Historiendarstellung.

Eine Wandmontage ermöglicht einfach die öffentliche Darstellung der aktuellen Messwerte im Schulgebäude. Die Stromversorgung erfolgt durch ein Netzteil und zur Ausfallüberbrückung durch 3 AAA Batterien. Durch EXPLORE SCIENTIFIC Bodenfeuchte- und Bodentemperatur-sensor ist die Station um diese zwei Messgrößen erweiterbar.

#### **Datenübertragung und -verarbeitung:**

Zwischen den Sensoren und der Basisstation läuft die Datenübertragung auf der RF-Frequenz: 868Mhz, die Verbindung hat eine Reichweite bis zu 150m. Das Übertragungsintervall vom Multisensor zur Kontrollstation ist 12s für UV-, Lichtintensitäts-, Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsdaten und 24s für Temperatur-, Feuchte- und Regendaten. Da das Innenraumklima sich nicht so schnell ändert erfolgt die Übertragung vom Innensensor nur alle 60s.

Von der Basisstation können die Daten per W-LAN an 3 verschiedene Wetterplattformen (<https://www.wunderground.com>, <https://weathercloud.net>, <https://join.awekas.at>) weitergeleitet werden. Über eine Internetverbindung kann dann von einem Arbeitsplatzrechner, Laptop oder anderen mobilen Geräten darauf zugegriffen werden.

#### **Kosten:**

Die Kosten für den EXPLORE SCIENTIFIC Profi W-LAN Wetter Center 7in1 werden mit 379,00 EUR angegeben (28.10.2021, <https://www.bresser.de>).

#### **Gesamteinschätzung:**

Die Vorteile dieser kompakten Wetterstation sind der einfache Aufbau und die relativ geringen Kosten. Weiterhin ist der belüftete Strahlungsschutz für den Thermohygrosensor positiv hervorzuheben. Als Nachteil ist auf der Sensorseite nur die Lichtstärkemessung zu bemängeln. Für die Einschätzung der thermischen Belastung ist die Strahlung der wichtigste Parameter. Exakte Strahlungsmessungen in  $W/m^2$  als Energieinput in das Ökosystem sind den Schülerinnen und Schülern auch deutlich besser vermittelbar. Ein weiterer Nachteil ist der direkte Upload der Daten. Es besteht so keine Möglichkeit zur Kontrolle der Datenqualität vor der Veröffentlichung. Bei Unterbrechung der Internetverbindung kann es aus diesem Grund auch zu Datenausfällen kommen, da diese erst nach erneutem Download lokal speicherbar sind. Das Problem des "direkten Uploads" ist sicher durch einen lokalen Internetserver lösbar. Diese Lösung erfordert jedoch Entwicklungsarbeit, deren Umfang hier noch nicht abgeschätzt werden kann. Die kompakte Bauweise der Station hat in Bezug auf die Nachhaltigkeit auch einen entscheidenden Nachteil. Wenn ein Sensor oder ein Teil der Station ausfällt muss mit großer Wahrscheinlichkeit die ganze Station neu angeschafft werden, da Einzelteile nicht verfügbar sind bzw. die Reparatur den Neupreis überschreitet. Dieses Risiko ist gerade an Schulen nicht zu unterschätzen. Alternativ zur empfohlenen Komplettstation von BRESSER wird das Davis Spezialpaket Weatherlink Wetterstation Vue 6100 EU + 6357 empfohlen.

## Vorschlag 2, Wetterstation mit Einzelsensoren

### Stationsbeschreibung:

Alternativen zu den kompakten Wetterstationen gibt es im Amateurbereich kaum. Eine der wenigen Ausnahmen sind die modular aufgebauten Wetterstationen von Davis (<https://davis-wetterstationen.de>). Beim System *Davis Vantage Pro2* kann von einer Basisvariante eine stufenweise Erweiterung erfolgen.



<https://davis-wetterstationen.de/davis-6152c-vantage-pro-2-kabel-wetterstation-6152ceu-p-106.html> (zuletzt aufgerufen am 17.03.2022)

Die Qualität der Sensoren bewegt sich durchgängig im obersten Amateurbereich und genügt den oben gestellten Kriterien. Es ist die einzige uns bekannte Amateurstation mit einem genügend genauen Strahlungssensor. Bei der *Davis Vantage Pro2* Wetterstation kann zwischen einer kabelgebundenen und einer drahtlosen Variante gewählt werden. Sie besteht aus einem Davis Vantage Pro 2 Monitor und einer aus einzelnen Sensoren kombinierten Außeneinheit. Der Strahlungsschutz für die Sensoren zur Messung der Lufttemperatur und -feuchtigkeit ist als Option auch belüftet verfügbar und orientiert sich in Form und Maßen an den Standards der Wetterdienste, ebenso der Niederschlagsmesser. Der Windmesser verfügt über ein zusätzliches 12m Kabel und kann so ohne großen Aufwand an einer exponierten für die Windmessung geeigneten Position angebracht werden (Standard der Wetterdienste wäre ein 10m Mast). Die Abbildung zeigt, dass die Montage einfach an einem Rohr vorzunehmen ist. Der Kombi-Außensensor wird mit einer Solarstromzelle mit Akkupufferung versorgt, die drahtlose Version ist somit völlig autark einsetzbar. Die Ersatzenergiequelle ist eine CR-123A 3-Volt-Lithiumbatterie (8 Monate ohne Sonnenlicht, mehr als 2 Jahre je nach Solaraufladung).

Auch bei der *Davis Vantage Pro2* zeigt die Basisstation neben den direkt gemessenen Werten eine Vielzahl abgeleiteter Größen, wie die gefühlte Temperatur, Taupunkt, Wärmeindex, Windchillfaktor und grafische Historiendarstellung. Die Stromversorgung erfolgt durch ein Netzteil und zur Ausfallüberbrückung existieren drei C-Zellen-Batterien.

Als Alternative zur Basisstation kann der Kombi-Außensensor auch direkt per Funk oder Kabel mit dem *Davis Weatherlink Live Datenlogger 6100* verbunden werden. Die Datendarstellung kann dann über den angeschlossenen PC erfolgen.

### **Datenübertragung und -verarbeitung:**

Zwischen den Sensoren und der Basis der Station (Display oder Weatherlink) läuft die Datenübertragung auf der RF-Frequenz: 868,0 - 868,6 MHz FHSS. Durch das sogenannte Frequenzsprung-Spreizverfahren (FHSS) ist eine störungsfreie Übertragung der Vantage Pro 2 gewährleistet. Sobald ein Kanal gestört ist, wechselt die Davis Vantage Pro 2 selbstständig auf das nächste Band. Dabei beträgt die Reichweite 300m. Das Übertragungsintervall von der Außeneinheit ist 2,5s. Für die weitere Datenübertragung gibt es zwei Möglichkeiten.

1. Mit einem *Weatherlink Live Datenlogger 6100* können die Daten auf die Wetterplattform <https://www.weatherlink.com/> gestreamt und anschließend über die Apps von DAVIS auf Rechnern oder mobilen Endgeräten dargestellt werden. Für einen direkten Download muss jedoch ein kostenpflichtiger Account angelegt oder eigene Logger-Software zusammengestellt werden.
2. Wenn als Basisstation der *Vantage Pro 2 Monitor 6312 (Display)* verwendet wird, können die Daten über den Logger *Weatherlink 6510 PC-Anschluss* unabhängig gespeichert werden. Mit der dazu gelieferten Software von DAVIS oder mit WsWin (Werner Krenn, <https://www.pc-wetterstation.de/>) können die Messungen dann auf dem PC dargestellt und an unabhängige Wetterplattformen AWEKAS, [wettersektor.de](http://wettersektor.de) und [rurwetter.de](http://rurwetter.de) weitergeleitet werden.

### **Kosten:**

In unserer Empfehlung setzt sich die Wetterstation aus einer Basisstation *Vantage Pro 2* und dem *Datenlogger* zusammen.

- 6152 Davis Vantage Pro 2 6152 EU wireless Funkwetterstation: 639,98 EUR
- Davis Weatherlink Datenlogger 6510 USB Software PC: 169,98 EUR
- Vantage Pro 2 und Datenlogger im Bündel: 799,99 EUR

Als Erweiterung wird der Kauf eines Strahlungssensors empfohlen

- Davis Solarstrahlungs-Sensor 6450 179,99 EUR

Es ist möglich die Wetterstation durch weitere Komponenten wie eine Belüftung des Strahlungsschutzes und einen UV Sensor zu erweitern, dann werden die Vorgaben für die Kosten jedoch deutlich überschritten.

- Davis Vantage Pro 2 Aktiv Plus 6163EU+Davis Weatherlink Datenlogger 6510 USB Software PC: 1445 EUR.



### **Gesamteinschätzung:**

Das System *Davis Vantage Pro2* bietet als einzige Amateurstation einen Strahlungssensor an. Es ist stufenweise erweiterbar. Der Aufbau ist nachhaltig, da im Vergleich zu den Kompaktstationen qualitativ hochwertige Sensoren verwendet werden, die bei Defekt einzeln austauschbar sind. Das System ist durch den Datenlogger sicher gegenüber Ausfällen des Daten- und Stromnetzes. Die gemessenen Daten können direkt auf dem eigenen PC weiterverarbeitet werden, ohne dass erst ein Upload erfolgt. Aus diesen Gründen wurde das System auch bereits beim Sächsischen Bergsteigerbund (Felsampel) und in Forschungsprojekten der TU Dresden (Extruso) eingesetzt. Als Nachteil kann nur der im Vergleich zu den kompakten Wetterstationen hohe Preis angeführt werden.

### **Vorschlag 3, Bausatz**

#### **Stationsbeschreibung:**

Alternativ zu den fertigen Wetterstationen werden hier die Möglichkeiten des kostengünstigen Selbstbausatzes kurz beschrieben. Die Recherche ergab eine kaum zu überblickende Menge von Ansätzen, die eine rasante Entwicklung in den letzten Jahren belegen. Erfolgreiche Anwendungen im wissenschaftlichen Bereich zeigen, dass kostengünstige flexible Bausätze längst nicht mehr nur im Bereich von Hobbyprojekten zum Einsatz kommen.



<https://sensebox.kaufen/product/sensebox-home> (zuletzt aufgerufen am 14.03.2022)

Ein Beispiel sind die Messkampagnen FESSTVaL (Field Experiment on Submesoscale Spatio-Temporal Variability in Lindenberg) und FESST@HH (FESST in Hamburg), in denen u. a. 100 sogenannte APOLLO Stationen ("Autonomous cold POoL LOgger", Eigenbau Uni Hamburg) eingesetzt wurden, die sekundlich Temperatur und Luftdruck aufzeichnen (<https://fesstval.de/kampagne/cold-pools>). In der generellen Struktur bestehen die Eigenbauten aus digitalen Sensoren, einem Einplatinencomputer und dem Schutzgehäuse.

Die als Lernplattform bekanntgewordene Physical-Computing-Plattform Arduino (Plattform) hat eine geeignete integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) zur Softwareentwicklung etabliert, die inzwischen für viele verfügbare Sensoren fertige Routinen anbietet. Aufgrund des großen Umfangs wird auf die detaillierte Beschreibung zur technischen Umsetzung im Rahmen dieses Berichts verzichtet und auf Anleitungen im Internet verwiesen (einen guten Start liefern z. B. die Seiten <https://www.raspberrypi.org/>, <https://www.arduino.cc/>). Die praktische Umsetzung wird inzwischen auch durch einige Anbieter fertiger Bausätze erleichtert. Als Beispiel wird hier die Entwicklung des Schüler- und Forschungslabors GI@School am Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster empfohlen (<https://sensebox.de/>). Die angebotene modulare senseBox:edu ist ideal für den Einsatz als Umweltmessstation und in der digitalen Bildung. Für den Einsatz als Klimastation wäre der Bausatz senseBox:home ausreichend. Sie bietet die Möglichkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Beleuchtungsstärke, UV-Intensität, Lärm und Feinstaub zu messen und auf dem OLED-Display anzeigen zu lassen.

Der relativ einfach zu programmierende Mikrocontroller erlaubt eine beliebige Erweiterung des Repertoires der mitgelieferten Sensoren durch hochwertige Sensoren. Für die Klimastation wäre weiterhin ein Anemometer (Windsensor) und ein Niederschlagsmesser einzubinden. Die senseBox:home wird mit einem wetterfesten Gehäuse für den Mikrocontroller und einem Strahlenschutz für den Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor geliefert.

#### **Datenübertragung und -verarbeitung:**

Je nach Entfernung des Standorts können die Daten der Messstation direkt per W-LAN oder per Ethernet in ein lokales Netzwerk eingespeist werden. Bei weiter entfernten Standorten bietet sich das LoRa Netzwerk an oder bei völlig separierten Stationen eine lokale Speicherung und manuelle Übertragung per microSD-Karte. Für die weitere lokale Datenverarbeitung wurden eine Reihe weiterer Open Source Lösungen erarbeitet (z. B. <https://mgysel.ch/influxdb-telegraf-and-grafana-on-a-raspberry-pi/>). Der gemessene Datenstrom wird dabei direkt in eine lokale Datenbank (z. B. InfluxDB) abgelegt. Mit Hilfe von eigenen Skripten oder fertiger Software (z. B.: Grafana) lassen sich die Daten dann kontinuierlich analysieren und auf einer Internetseite darstellen. Die Lösungen zur Einbindung der Daten in Messnetze unterscheiden sich nicht von den in Vorschlag 2 beschriebenen Ansätzen, zusätzlich sollen hier die in senseBox eingebundene Plattform <https://opensensemap.org/> (im Raum Dresden werden bereits 110 Stationen verzeichnet) und das Beispiel <https://sensor.community/de/> genannt werden. Letzteres ist wiederum bereits in opensensorweb eingebunden.

#### **Kosten:**

In unserer Empfehlung setzt sich die Wetterstation aus den folgenden 3 Komponenten zusammen (mehrere Preise sind Optionen, fett jeweils die Empfehlung). Weiterhin wird ein einfacher Computer mit Internetanschluss vorausgesetzt.

- senseBox:home (ohne Lärm- und Feinstaubsensor): 162,42 EUR
- Anemometer: 29,75 EUR ... 41,29 EUR ... **154,99 EUR**
- Niederschlagsmesser: 53,99 EUR ... **109,98 EUR**

Wenn der Aufbau und die Installation nicht in den Unterricht eingebunden werden können, entstehen zusätzliche Personalkosten. Je nach Qualifikation der Arbeitskraft werden 50 bis 200h veranschlagt.

### **Gesamteinschätzung:**

Der hervorzuhebende Vorteil dieser Lösung ist, dass hier eine Synergie bei der Vermittlung von Grundlagen in technischen Fächern, der Informatik und der Geographie hergestellt werden und damit der Bildungsauftrag bestens erfüllt werden kann. Die Datenerhebung mit selbstgebaute Sensorstationen bietet einen besonders zugänglichen Weg bei der Arbeit mit Geoinformation und Umweltdaten. Ganz nebenbei werden Kompetenzen in der Programmierung auf eine sehr anschauliche Art und Weise vermittelt. Weitere Vorteile sind die geringen Kosten und die Nachhaltigkeit, jedes Bauteil kann bei Ausfall separat ersetzt werden. Die Messdaten werden auch hier lokal vorgehalten und können vor Veröffentlichung geprüft werden.

Als Nachteil ergibt sich ein höherer Zeitaufwand bei der Einarbeitung und dem Aufbau der Messstationen. Die bisher verwendeten Sensoren für die Strahlung sind gleichwertig zu den Kompaktstationen aus Vorschlag 1, aber nicht so hochwertig wie im Vorschlag 2.

### **Allgemeine Anmerkungen**

Ansprechzeiten von Messgeräten werden im Allgemeinen unter Laborbedingungen bestimmt und nicht im Freiland. Ansprechzeiten sind weiterhin abhängig von der Windgeschwindigkeit und dem Änderungssignal („Sprung“) der interessierenden Größe. Die angegebenen Werte können daher nicht als allgemeingültig angenommen werden.

Die Genauigkeiten eines Messgeräts ändern sich im Allgemeinen mit den Umgebungsbedingungen und werden daher für unterschiedliche Messbereiche angegeben. Weiterhin ist zu beachten, dass die vom Hersteller angegebenen Genauigkeiten typischerweise im Labor bestimmt werden und nicht unter Freilandbedingungen. Die angegebenen Werte können daher nicht als allgemeingültig angenommen werden.

Eine regelmäßige, den Herstellervorgaben entsprechende Kalibrierung aller verwandten Messgeräte ist für verlässliche Messergebnisse unabdingbar. Hierfür müssen die Geräte gegebenenfalls eingeschickt werden.

Die derzeitigen Preisangaben basieren teilweise auf den Preisen älterer Angebote. Prinzipiell können die Preisangaben jedoch nur eine erste Schätzung darstellen. Es ist zu beachten, dass Preise im Allgemeinen zeitgebunden sind und je nach Kundenstatus variieren können. Weiterhin können je nach Anbieter verschiedene Zusatzkosten bzw. Steuern anfallen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass das derzeitige Preisgeschehen sehr dynamisch ist.

## Fazit

Für die Anschaffung von Wetterstationen an Klimaschulen im Freistaat Sachsen stehen die drei zuvor beschriebenen Stationstypen zur Auswahl. Die Stationen liegen alle im Amateurbereich und sind für den Einsatz an Klimaschulen zu Bildungszwecken geeignet. Der vergleichsweise einfache Aufbau ermöglicht den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in die Gewinnung meteorologischer Daten. Die Wetterstationen bieten einen alternativen Weg zur Vermittlung der städtischen Klimaveränderung. Beteiligte erhalten neben theoretischem Wissen auch praktische Kenntnisse im Bereich Datenvermittlung. Hierbei ist zu beachten, dass alle Wetterstationen eher für die Anwendung an Schulen mit höheren Jahrgangsstufen geeignet sind.

Die Wetterstationen an Klimaschulen bieten neue Anwendungsmöglichkeiten für die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Schulen in Citizen-Science-Projekten. Dies fördert die Weiterentwicklung und Attraktivität des Citizen-Science-Konzepts durch die direkte Konfrontation mit der aktuellen erkennbaren Klimaveränderung im eigenen Umfeld. Der Anwendungsbereich von stationären Wetterstationen lässt sich außerdem auf den fachübergreifenden Unterricht sowie Ganztagsangebote (GTA's) erweitern.