



## 1. Einleitung

Leben ist ohne Wasser nicht möglich. Das gilt natürlich auch für den Menschen als lebenden Organismus. Aus diesem Grund ist der Mensch zwangsläufig seit Beginn seiner Existenz damit beschäftigt, das lebenswichtige Gut auf irgendeine Weise für sich fassbar zu machen. Welche Bedeutung sauberes Wasser für die Gesundheit des Menschen hat, stellte sich allerdings erst im Laufe seiner Geschichte heraus. Nach den Zeiten großer Seuchen in vergangenen Jahrhunderten, die ihre Ursache meist in mikrobiell verunreinigtem Wasser hatten, und den chemischen Gewässerbelastungen im Zuge der industriellen Revolution, wurde die Gesellschaft für die Reinhaltung von Wasser sensibilisiert. Der Begriff „Trinkwasser“ entstand und schließlich legte man in der für Deutschland geltenden Trinkwasserverordnung (TVO) fest, welche chemischen, physikalischen und mikrobiellen Anforderungen ein Wasser erfüllen muss, um als Trinkwasser bezeichnet werden zu können.

Neben der in der TVO festgelegten Beschaffenheit des Wassers gibt es Regelungen hinsichtlich der Gewinnung von Trinkwasser. In der DIN 2001 wird beispielsweise dargelegt, wie eine Eigen- und Einzeltrinkwasserversorgung zu gestalten ist. Die Nutzarmachung des in der natürlichen Luft enthaltenen Wassers für den menschlichen Gebrauch wird dabei allerdings nicht berücksichtigt.

Unabhängig davon nutzen Menschen in trockenen Regionen der Erde die Luft als Wasserquelle. Dabei kommt ihnen das Phänomen der natürlichen Kondensation während der kühlen Nachtstunden zu Hilfe. Mit einer Vorrichtung, die Volker Feser in seinem Buch über Equador als „Wolkenfänger“ bezeichnet (Feser, 2002), wird beispielsweise in den Anden Tauwasser aufgefangen.

Technische Vorrichtungen, die Wasser auf erzwungenem Wege kondensieren, existieren zwar ebenfalls, sie sind aber für gänzlich andere Anwendungen vorwiegend in Gebieten mit gemäßigttem Klima gedacht. Die Rede ist von Kondensationstrocknern. Sie werden beispielsweise in Klimaanlageanlagen zur Luftfeuchteregulierung, zur Wäschetrocknung oder zum Austrocknen von Gebäuden verwendet. Man spricht dann von Bautrocknern. Bei all diesen Anwendungen - insbesondere erwähnt seien die im Rahmen dieser Arbeit betroffenen Bautrockner - ist Wasser ein Abfallprodukt und der Nutzen des Gerätes liegt in seiner Entfeuchtungsleistung.

Der Sinn dieser Arbeit besteht nun darin, einen Einblick in die Möglichkeiten eines bestimmten Bautrockners für seine Eignung zur Wassergewinnung für die menschliche Nutzung zu geben. Aus dem Abfallprodukt Wasser würde somit ein Wertgut und anstelle der Entfeuchtungsleistung wird der Begriff „Wasserleistung“ zutreffender. Gerade in Gebieten, in denen Wasser Mangelware und Sonne als Energielieferant überreich vorhanden ist, könnte sich der Betrieb eines solchen Gerätes, in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage als Energieversorgungseinheit, als sinnvoll erweisen. Denkbar wäre auch eine Nutzung in Katastrophengebieten, in denen Trinkwasserressourcen mikrobiologisch oder chemisch kontaminiert sind.

Unabhängig von allen Ergebnissen dieser Arbeit sollte die technische Wassergewinnung aus der Luft, als Wasserträger und somit potenziellem Lieferanten, weitere Beachtung finden.



Abb. 1: BautrocknerTTK 300 auf der „grünen Wiese“

## 2. Überblick über Ziele und Wege

Die Wasserleistung des Geräts bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen wird betrachtet.

Das bei normalem Betrieb des Trockners gewonnene Kondensat wird auf die grundlegenden Eigenschaften pH-Wert und spezifische Leitfähigkeit untersucht. Des Weiteren wird der Gehalt an vier verschiedenen Schwermetallen voltammetrisch untersucht. Die Ergebnisse werden anhand der TVO 2003 bewertet.

In einem speziellen Versuch wird der Übergang vier verschiedener organischer Lösungsmittel aus der Luft ins Kondensat in Abhängigkeit vom Klima mittels GC-MS untersucht. Ziel ist die Abschätzbarkeit der Wasserqualität bei einem Betrieb in lösungsmittelhaltiger Atmosphäre.

In einem weiteren Versuch wird der Übergang von PAK (= Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) aus stark autoabgashaltiger Luft ins Kondensat mittels GC-MS untersucht. Ziel ist die Abschätzbarkeit der Wasserqualität hinsichtlich des PAK-Gehaltes bei einem Betrieb an verkehrsreichen und somit abgasbelasteten Orten. Eine Bewertung der Ergebnisse nach TVO 2003 ist angedacht.



### 3. Bautrockner TTK 300

#### 3.1. Daten

##### Eckdaten

Bezeichnung:	TTK 300
üblicher Verwendungszweck:	Gebäudetrocknung im Dauerbetrieb
Hersteller:	Fa. Trotec
Neupreis ab Hersteller:	1890,80 € incl. 16 % MWST. (Trotec (1), 2003)

##### Technische Daten (Trotec (2), 2002)

Arbeitsbereich	0 – 40 °C
Luftdurchströmrage:	390 m³/h
elektrischer Anschluss:	230 V
Leistungsaufnahme (ø / max.):	650 W / 980 W
Kompressor:	Rollkolben
H x B x T:	850 x 460 x 460 mm
Gewicht:	39 kg

#### 3.2. Funktionsprinzip

Der Trockner arbeitet nach dem Kondensationsprinzip. Durch einen Rotor wird Luft in das Gerät eingesaugt. Direkt nach dem Lufteinstrom kondensiert Luftfeuchte an einer metallenen Kühlfläche. Die Luft kühlt dadurch ab. Sie wird beim weiteren Durchströmen des Geräts an Heizlamellen wieder erwärmt und schließlich am Luftausstrom wieder an die Umgebung abgegeben. Das Kondensat tropft in eine Kondensatauffangwanne und läuft von dort über einen Kunststoffschlauch nach außen ab. Kühl- und Heizoberfläche sind Teil der geräte-internen Kältemaschine. Im Bereich der Kühllamellen verdampft der im Kältemittelkreislauf geführte Stoff und entzieht dadurch dem Luftstrom Wärme. Daraufhin kondensiert Luftfeuchte. An den Heizlamellen kondensiert das Kältemittel wieder und gibt Wärme an den Luftstrom ab. Kühl- und Heizlamellen sind nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Sie bestehen aus kupfernen Wärmeübertragerrohren (ca. 0,5 -1 cm Durchmesser), die mit sehr vielen dicht aneinandergereihten metallischen Lamellen ringförmig ummantelt sind.

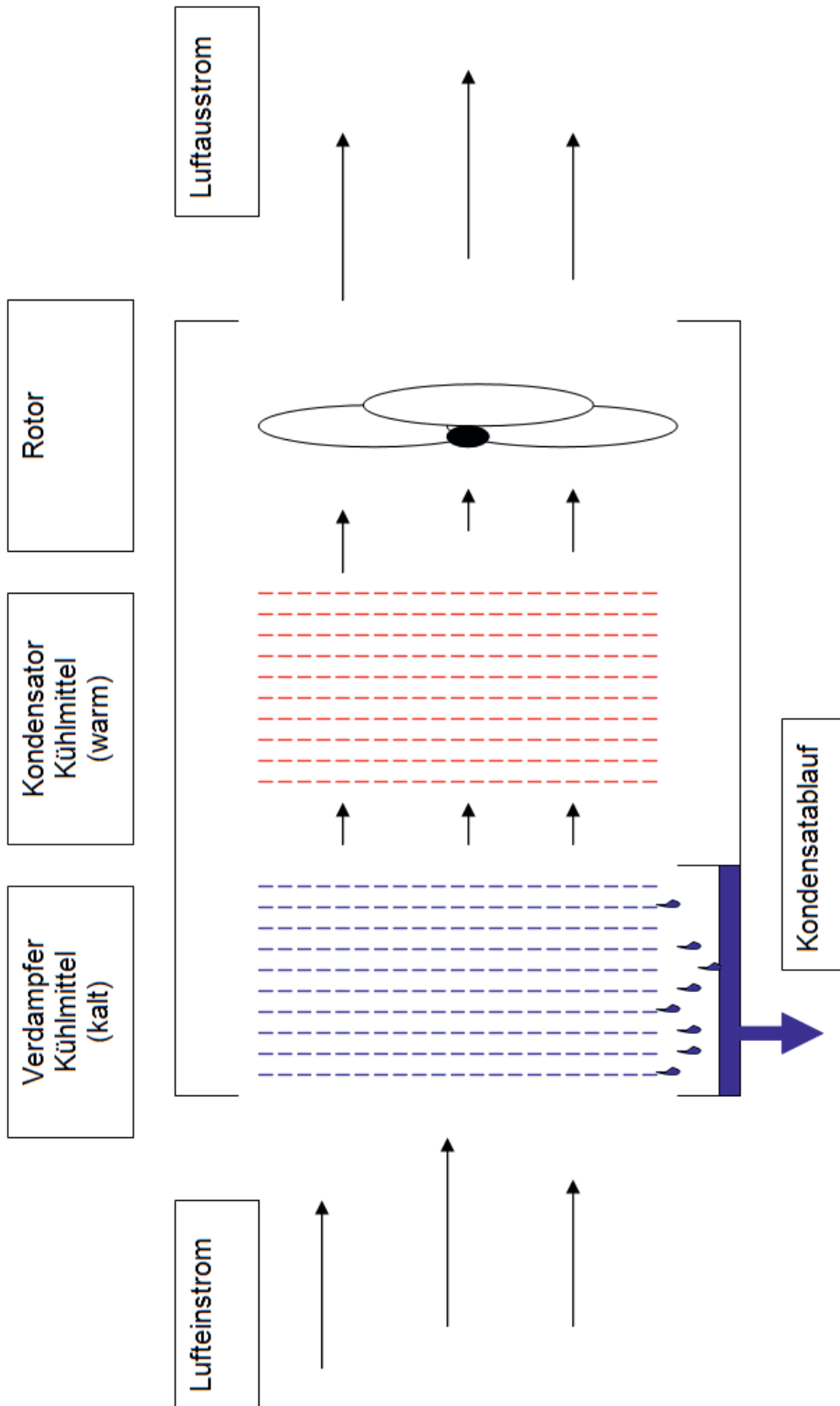


Abb. 2: Funktionsprinzip des Bautrockners TTK 300



### 3.3. Wasser- bzw. Entfeuchtungsleistung

#### 3.3.1. Wasserleistung bei verschiedenen Klimata

In der nachfolgenden Tabelle sind die Herstellerangaben zur Wasserleistung des TTK 300 in Abhängigkeit vom Klima enthalten.

Tab. 1: Herstellerangaben zur Wasserleistung (Trotec (2))

Temperatur $\Theta$ [°C]	Relative Luftfeuchte r [%]	Wasserleistung [l / 24 h]
10	80	18
20	80	39
30	80	48
20	75	36
20	60	24

#### 3.3.2. Untersuchung zur Wasserleistung bei Extremklima

Die Angaben des Herstellers zur Wasserleistung beziehen sich auf Klimata mit sehr hoher relativer Luftfeuchte. Zur Ermittlung der Wasserleistung bei einem quasi subtropischen oder gar Wüstenklima mit niedriger relativer Luftfeuchte und gleichzeitig hoher Umgebungstemperatur wurde eigens ein Test durchgeführt.

Versuchsklima:  $\Theta = 40 \pm 0,4^\circ \text{C}$        $r = 20 \%$

Versuchsort: geschlossener Laborraum (ca. 10 \* 3 \* 3,5 m)

Klimaeinstellung: durch den Betrieb von vier Bunsenbrennern

#### Durchführung

Der Trockner wurde bei den genannten Bedingungen für 32 min betrieben, nachdem das Klima einige Zeit vorher bereits eingestellt und ein kontinuierlicher Kondensatfluss erkennbar war. Die angegebenen Temperaturschwankungen ergaben sich durch dynamische Prozesse von Erwärmung und Abkühlung. Sie sind Messwerte im Rahmen der Ablesegenauigkeit.



### Messgeräte

- Thermometer: Hg-Thermometer von B. Braun Melsungen,  
Teilstrichabstand  $\triangleq 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , Ablesegenauigkeit  $\approx 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$
- Hygrometer/Uhr: Elektronische Ausführung mit Digitalanzeige,  
Angabe von  $r \geq 20\%$ , Anzeige ohne Nachkommastelle

### Wasserleistung in 24 h

Während der 32 min Versuchsdauer wurde ein Messzylinder (50 ml) mit Kondensat gefüllt. Hochgerechnet auf 24 Stunden erhält man schließlich eine voraussichtliche Kondensatmenge von 2,25 l.

## **3.4. Betrieb des TTK 300 in Verbindung mit Photovoltaikelementen im Jahr 2003 – ein Beispiel**

### **3.4.1. Eckdaten zur Photovoltaik (Conrad Electronic, Katalog 2003):**

Photovoltaikmodul ASx100, polykristallin von Sunset Energietechnik:

- Leistung max.: 95 W
- Preis: 599,00 € incl 16 % MWST.
- Vertrieb: Fa. Conrad Electronic

Das ausgewählte Photovoltaikmodul war im Vergleich zu anderen im Katalog das preisgünstigste.

### **3.4.2 Auslegung der Photovoltaikanlage**

#### Anzahl der Photovoltaikmodule:

Sie wurde berechnet unter der Voraussetzung maximaler Leistungsaufnahme des Trockners und der Hälfte der maximalen Leistungsabgabe (beste Sonneneinstrahlung) der Photovoltaikmodule:

$P_{\max}$  (Entfeuchter): 980 W

$P_{1/2\max}$  (Photovoltaikmodule):  $\frac{1}{2} * 95 \text{ W} = 47,5 \text{ W}$

Anzahl der Photovoltaikmodule:  $980 \text{ W} / 47,5 \text{ W} = 20,6 \approx \underline{21}$



Die Anzahl der Photovoltaikmodule beträgt bei diesen Bedingungen also 21. Für die Bereitstellung der elektrischen Leistung bei bewölktem Himmel oder nachts könnte die zusätzliche Installation einer Solarakkueinheit zweckmäßig sein. Sie speichert überschüssige Energie zu Zeiten guter Sonneneinstrahlung und stellt sie bei Bedarf zur Verfügung.

### 3.4.3. Kosten der solaren Wasserversorgungseinheit

In Tabelle 2 sind die Kosten für die Anlage ohne Akkueinheit enthalten. Der größte Kostenpunkt ist dabei mit großem Abstand die Photovoltaikanlage.

Tab. 2: Kosten der solaren Wasserversorgungseinheit

Photovoltaikanlage (excl. Akkueinheit)	12579,00 €
TTK 300	1890,80 €
Gesamtkosten (incl. 16 % MWST.)	14469,80 €



## 4. pH-Wert der Wasserproben

### 4.1. Allgemeines zur pH-Messung

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-konzentration einer wässrigen Lösung.

#### **Messprinzip** (WTW (1), 1980):

Für die Messung des pH-Wertes benötigt man ein pH-Messgerät (oder pH-Meter) und in Verbindung damit eine pH-Glaselektrode, sowie eine Bezugslektrode, die beide in die Messlösung eingetaucht werden. Heute werden anstelle der einzelnen Elektroden fast ausnahmslos sogenannte Einstabmessketten verwendet. Dabei sind eine pH-Glaselektrode und eine Bezugslektrode in einem Glasschaft untergebracht. Taucht man die Messkette in eine wässrige Lösung, so liefert sie eine pH-abhängige elektrische Spannung.

Die Spannung wird über einen Messverstärker mit hohem Eingangswiderstand verstärkt und angezeigt. Jeder Spannung ordnet das Messgerät einen pH-Wert zu, der alternativ auf der Displayanzeige angezeigt werden kann. Aussagekräftig wird dieser pH-Wert allerdings erst nach erfolgter Kalibrierung der Messeinheit (= Messgerät + Messkette).

#### **Kalibrierung** (WTW (2), 1980):

Jede pH-Glaselektrode hat zwei charakteristische Kennwerte, das sogenannte Asymmetriepotenzial und die Steilheit. Sie können sich im Laufe der Zeit ändern. Aus diesen Gründen muss eine Messkette mit dem zugehörigen Messgerät kalibriert werden. Das Asymmetriepotenzial ist die Restspannung in einer Lösung, deren pH-Wert genau dem Elektroden-Innenpuffer entspricht. Als Steilheit bezeichnet man die Spannungsabgabe pro pH-Einheit. Sie wird auch nernstscher Faktor genannt und wird in „mV/pH“ angegeben. Wegen ihrer Temperaturabhängigkeit muss die Messeinheit für eine bestimmte Temperatur der Messlösungen kalibriert werden.





## 4.2. pH-Messung

### 4.2.1. Analytische Geräte

Die Messeinheit zur Bestimmung des pH-Wertes der Wasserproben bestand aus folgenden Geräten:

#### **pH Digi 550 von WTW (WTW (3), 1980):**

##### Technische Daten:

Messbereich: pH 0,00 bis 14,00

Messgenauigkeit:  $\pm 0,01$  pH  $\pm 1$  Digit

#### **pH-Einstabmesskette „SenTix 61“ von WTW (WTW (4), 2000):**

##### Technische Daten:

Messbereich: pH 0 bis 14

Bezugselektrolyt: KCl (c = 3 mol/l), Ag<sup>+</sup>-frei

Innenpuffer: pH = 7,0  $\pm$  0,25

### 4.2.2. Bestimmungen

Zu Beginn jeder Messreihe bzw. der Messungen an einem Tag wurde eine Kalibrierung des pH-Meters durchgeführt. Die Vorgehensweise entsprach der in der Bedienungsanleitung des Gerätes geschilderten (WTW (5), 1980).

#### ***Messreihe 1***

<b>Betriebsort des Trockners:</b>	Laborraum
<b>Art der Probenahme:</b>	jeweils Ablauf direkt von der Kondensatauffangwanne in ein Becherglas (= Messgefäß)
<b>Zeitraum der gesamten Probenahme:</b>	an zwei verschiedenen Tagen (im Abstand von drei Tagen)



**Zeitabstand Probenahme - Messung:** unmittelbar bis 100 min

**Probenbezeichnung:**

1,2,3,4,5,6,7,8:

Probenahmeabstand zwischen den einzelnen Proben:

1,2,3,4,5:

6,7,8:

ca. 15 min

6-7: 60 min

7-8: 30 min

am Tag y

am Tag y + 3

a,b:

eine Probe, gleiches Messgefäß, b gemessen nach  
Zwischenspülen mit Probe und erneuter Kalibration des pH-Meters

**Probentemperatur:** 25 °C

**Ergebnisse Messreihe 1**

Tab. 3: ... (a)

Probe von Tag y	pH
1a	5,49
1b	5,42
2a	5,27
2b	5,35
3a	5,37
3b	5,41
4a	5,54
4b	5,53
5a	5,78
5b	5,76
	Mittelwert mit s: 5,5 ± 0,2

Tab. 4: ... (b)

Probe von Tag y + 3	pH
6a	5,80
6b	5,86
7a	5,97
7b	5,99
8a	5,90
8b	5,91
	Mittelwert mit s: 5,9 ± 0,1