# Untersuchung eines Bautrockners auf seine Eignung zur Wassergewinnung für die menschliche Nutzung

Daniel Ries
Diplomarbeit
Universität Hohenheim

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

**Universität Hohenheim**

Institut für Lebensmitteltechnologie
Arbeitsbereich Lebensmittelanalytik
Prof. Dr. H.-D. Isengard

# Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Lebensmittel-Ingenieur

## Untersuchung eines Bautrockners auf seine Eignung zur Wassergewinnung für die menschliche Nutzung

vorgelegt von Daniel Ries
im Juni 2003

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2015

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2015
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.
1. Auflage, 2015
Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

eISBN 978-3-7369-8043-3

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

**Danke**

Von der Idee zur Abgabe dieser Arbeit war es ein langer Weg - manchmal beschwerlich und manchmal angenehm zu gehen. Allen, die mich darauf begleitet haben, möchte ich mit diesen Zeilen danken.

Vielen Dank, Herr Prof. Dr. Isengard, für die Ermöglichung der Arbeit.

Vielen Dank, ISI-Team, für das freundschaftliche Arbeitsklima.

Vielen Dank, Herr Dr. Nirmeyer und Herr Hansemann (Fa. Metrohm), für die Ratschläge und die Unterstützung bei voltammetrischen Herausforderungen.

Vielen Dank, Frau Ressler, Frau Dr. Geissler und Frau Dr. Potyka (Fa. Shimadzu), für die Ratschläge hinsichtlich der GC-MS-Software.

Vielen Dank, Technikabteilung Hochschulzentrum Esslingen, für die Unterstützung bei so manchen technischen Angelegenheiten.

Vielen Dank, liebe Eltern, für das „Rückenfreihalten“ daheim.

Vielen Dank, Freunde, für die Neugier und das Interesse.

Vielen Dank, Familie Heißler, für das Angebot euere Garage im Dienste der Wissenschaft mit Autoabgasen vollblasen zu dürfen.

...and last but not James...

Vielen Dank, Gott - auch wenn es noch kein Analytiker geschafft hat, dich nachzuweisen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

# Untersuchung eines Bautrockners auf seine Eignung zur Wassergewinnung für die menschliche Nutzung

## Inhalt


**1. Einleitung** ..... 1

**2. Überblick über Ziele und Wege** ..... 2

**3. Bautrockner TTK 300** ..... 3

3.1. Daten ..... 3

3.2. Funktionsprinzip ..... 3

3.3. Wasser- bzw. Entfeuchtungsleistung ..... 5
3.3.1. Wasserleistung bei verschiedenen Klimata ..... 5
3.3.2. Untersuchung zur Wasserleistung bei Extremklima ..... 5

3.4. Betrieb des TTK 300 in Verbindung mit Photovoltaikelementen im Jahr 2003 – ein Beispiel ..... 6
3.4.1. Eckdaten zur Photovoltaik ..... 6
3.4.2 Auslegung der Photovoltaikanlage ..... 6
3.4.3. Kosten der solaren Wasserversorgungseinheit ..... 7

**4. pH-Wert der Wasserproben** ..... 8

4.1. Allgemeines zur pH-Messung ..... 8

4.2. pH-Messung ..... 9
4.2.1. Analytische Geräte ..... 9
4.2.2. Bestimmungen ..... 9
4.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse ..... 12
4.2.4. Diskussion der Ergebnisse ..... 13

**5. Spezifische Leitfähigkeit der Wasserproben** ..... 13

5.1. Allgemeines zur spezifischen Leitfähigkeit und deren Ermittlung ..... 13

5.2. Spezifische Leitfähigkeit ..... 14
5.2.1. Analytische Geräte ..... 14
5.2.2. Praktisches Vorgehen zur Messung ..... 15
5.2.3. Berechnung der spezifischen Leitfähigkeit κ ..... 15
5.2.4. Bestimmungen ..... 16
5.2.5. Überprüfung der Messzellenkonstante k ..... 19
5.2.6. Zusammenfassung der Ergebnisse ..... 20
5.2.7. Diskussion der Ergebnisse ..... 21



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

**6. Untersuchung des Gehalts verschiedener Schwermetalle mittels Voltammetrie** ..... 22

6.1. Analyseverfahren Voltammetrie ..... 22
6.1.1. Chemische Voraussetzungen des Analyten ..... 22
6.1.2. Chemische Vorgänge zur Darlegung des Bestimmungsprinzips ..... 22
6.1.3. Elektroden ..... 24
6.1.4 Bedingungen für den Ablauf der Redoxreaktion ..... 25
6.1.5. Konstantes Potenzial und Durchfahren einer Spannungsrampe ..... 26
6.1.6. Strommesstechniken bzw. Art der Spannungsrampe ..... 27
6.1.7. Stofftransport zum Reaktionsort Quecksilbertropfen ..... 28
6.1.8. Die Grundlösung ..... 28
6.1.9. Quantitative Analyse ..... 29
6.1.9.1. Durchtrittsreaktion und Stofftransport ..... 29
6.1.9.2. Standardaddition bzw. Aufstockmethode ..... 29

6.2. Voltammetrische Bestimmung verschiedener Metallkationen ..... 30
6.2.1. Auswahl der zu untersuchenden Metalle anhand der Trinkwasserverordnung ..... 30
6.2.2. Analytische Geräte ..... 32
6.2.2.1. VA-Processor 646 von Metrohm ..... 32
6.2.2.2. VA-Stand 647 von Metrohm ..... 32
6.2.3. Material ..... 34
6.2.4. Probengewinnung ..... 34
6.2.5. Herstellung von Standardlösungen ..... 35
6.2.6. Verifizierungsproben ..... 35
6.2.7. Methoden ..... 36
6.2.7.1. Probenvorbereitung ..... 36
6.2.7.2. Bestimmungen ..... 38
6.2.8. Analysenpläne ..... 43
6.2.9. Ergebnisse ..... 44
6.2.10. Beispielvoltammogramme von Proben ..... 45
6.2.11. Erläuterung der Ergebnisse ..... 49
6.2.12. Die Kupferproblematik und eine mögliche Lösung ..... 49

**7. Allgemeines zur Gaschromatographie und Massenspektrometrie** ..... 50

7.1. Probenaufgabe bzw. Injektion ..... 50

7.2. Gaschromatographische Säule ..... 50

7.3. Trennprinzip und Aspekte der Trennung ..... 50

7.4. Detektion mittels Massenspektrometer ..... 51

**8. Untersuchung des Übergangs organischer Lösungsmittel aus der Luft ins Kondensat mittels GC-MS** ..... 52

8.1. Probengewinnung ..... 52
8.1.1. Verwendete organische Lösungsmittel ..... 52

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.1.2. Versuchsort ... 52
8.1.3. Klimatische Bedingungen ... 53
8.1.3.1. Einstellung der Klimata ... 53
8.1.3.2. Probenplan mit Klimadaten ... 54
8.1.3.3. Ermittlung der tatsächlichen Klimadaten ... 54

8.2. Versuchsvorbereitung ... 55

8.3. Versuchsapparatur und –durchführung ... 56

8.4. Nachbehandlung der Proben ... 58
8.4.1. Bestimmung der Kondensatmasse ... 58
8.4.2. Probenhandhabung bis zur Messung ... 58

8.5. Aspekte der Kondensation ... 59

8.6. Ermittlung des Substanzgehalts im Kondensat mittels GC-MS ... 59
8.6.1. GC-MS-Methode ... 59
8.6.2. Informationen zur Injektion ... 60
8.6.3. Informationen zur Quantifizierung / Kalibration ... 61
8.6.4. Analysenpläne und Ergebnisse ... 61
8.6.4.1. Klimaspezifischer Analysenplan und Ergebnistabelle 1 ... 62
8.6.4.2. Klimaspezifischer Analysenplan und Ergebnistabelle 2 ... 63
8.6.4.3. Klimaspezifischer Analysenplan und Ergebnistabelle 3 ... 64
8.6.4.4. Ergebnisse und Diskussion zur Substanzkonzentration ... 65
8.6.4.5. Ergebnisse und Diskussion zum rekondensierten Massenanteil ... 68
8.6.5. Betrachtung der höchsten Substanzkonzentrationen hinsichtlich ihrer Toxizität ... 71
8.6.6. Allgemeine Einschätzung eines Gefährdungspotenzials durch kondensierende organische Lösungsmittel ... 72

**9. Untersuchung des Übergangs von PAK aus autoabgashaltiger Luft ins Kondensat mittels GC-MS** ... 73

9.1. Probengewinnung ... 73

9.2. Untersuchung des PAK-Gehalts ... 73
9.2.1. GC-MS-Methode ... 74
9.2.2. Informationen zur Injektion ... 75
9.2.3. Informationen zur Standardlösung ... 75
9.2.4. Vorgehensweise bei der Analyse ... 75

9.2.4.1. Von der Methodenentwicklung zur Substanzzuordnung im Chromatogramm des Standards ... 75
9.2.4.2. Analyse der Wasserprobe ... 77
9.2.5. Bestimmungsgrenze ... 78
9.2.6. Ergebnisse ... 79
9.2.6.1. Schlussfolgerungen aus den Chromatogrammvergleichen ... 79
9.2.6.2. Nachweisgrenzen ... 80
9.2.6.3. Diskussion ... 81

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

**10. Statistische Methoden** ..... 81

**11. Zusammenfassung und Ausblick** ..... 82

**12. Literaturverzeichnis** ..... 84

**13. Anhang** ..... 86

13.1. Voltammetrische Untersuchungen ..... 86
13.1.1. Rohdaten / Ergebnisse Cadmium ..... 86
13.1.2. Rohdaten / Ergebnisse Blei ..... 87
13.1.3. Rohdaten / Ergebnisse Kupfer ..... 88
13.1.4. Rohdaten / Ergebnisse Nickel ..... 89

13.2. Versuche zum Übergang organischer Lösungsmittel ..... 90
13.2.1. Berechnung von Klimadaten durch Integration 1 ..... 90
13.2.2. Berechnung von Klimadaten durch Integration 2 ..... 91
13.2.3. Berechnung von Klimadaten durch Integration 3 ..... 92
13.2.4. Berechnung von Klimadaten durch Integration 4 ..... 93
13.2.5. Stoffspezifische GC-MS-Messdaten zur Kalibration und Beispiele für Probenmessungen ..... 94

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

## Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| Abb. | Abbildung |
| Abs. | Absatz |
| ADI | Acceptable Daily Intake |
| AdSV | Adsorptions-Stripping-Voltammetrie |
| Art. | Artikel |
| ASV | Anodic Stripping Voltammetry |
| Aufl. | Auflage |
| B | Breite |
| c | Stoffkonzentration |
| CI | Chemische Ionisation |
| CSV | Cathodic Stripping Voltammetry |
| d | Durchmesser |
| dem. | demineralisiert |
| DIN | Deutsche Industrienorm |
| DME | Dropping Mercury Electrode |
| DMG | Dimethylglyoxim |
| DPN | Diffentialpulsmodus |
| DPV | Differential Pulse Voltammetry |
| e | eulersche Zahl |
| EI | Elektronenstoßionisation |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| EW | Einwaage |
| EWG | Europäische Wirtschaftsgemeinschaft |
| F | Fläche |
| Fa. | Firma |
| $G$ | Leitwert |
| $\overline{G}$ | Mittelwert des Leitwerts |
| GC | Gaschromatograph / -graphie |
| GC-MS | Gaschromatograph-Massenspektrometer / Gaschromatographie-Massenspektrometrie |
| G-Kat | Geregelter Katalysator |
| H | Höhe |
| HMDE | Hanging Mercury Drop Electrode |
| i | Elektrischer Strom im zeitlichen Verlauf |
| K | Klima |
| k | Messzellenkonstante |
| k.A. | keine Angabe |
| Kap. | Kapitel |
| konst. | konstant |
| LD | Letale Dosis |
| MAK | Maximale Arbeitsplatzkonzentration |
| min | Minuten |
| $m_k$ | Masse des Stoffes im Kondensat |
| MME | Multi-Mode-Elektrode |
| MS | Massenspektrometer / -metrie |
| MWST. | Mehrwertsteuer |
| m/z | Masse/Ladung |
| P | Leistung |

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

| | |
|---|---|
| PAK | Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PKW | Personenkraftwagen |
| R | elektrischer Widerstand |
| r | relative Luftfeuchte |
| R.d.H. | Riedel -de Haën |
| s | empirische Standardabweichung |
| SGE | Scientific Glass Engineering |
| SMDE | Static Mercury Drop Electrode |
| T | Temperatur; Tausend |
| Tab. | Tabelle |
| TIC | Total Ion Count |
| TVO | Trinkwasserverordnung |
| U. Kap. | Unterkapitel |
| UV | Ultraviolett |
| VCH | Verlag Chemie |
| Ver. | Version |
| WTW | Wissenschaftlich Technische Werkstätten |
| Θ | Temperatur in °C |

**Firmenverzeichnis**

| | |
|---|---|
| B. Braun Melsungen | Melsungen |
| Brand | Wertheim |
| Conrad Electronic | Hirschau |
| Fluka | Buchs, Schweiz |
| Eppendorf | Hamburg |
| Julabo | Seelbach |
| Merck | Darmstadt |
| Metrohm | Herisau, Schweiz |
| Phenomenex | Torrance, USA |
| Riedel -de Haën | Seelze |
| Sartorius | Göttingen |
| SGE | Ringwood, Australia |
| Sunset Energietechnik | Adelsdorf |
| Shimadzu | Kyoto, Japan |
| Trotec | Heinsberg |
| WTW | Weilheim |

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.