

Atmospheric Water Generation (AWG)

Atmospheric Water Generation (AWG) ist eine Technologie, die Wasser direkt aus der Luft gewinnt.

WASSER VERWALTEN

KNAPPHEIT VERWALTEN – ZUKUNFT VERPFIENEN

Reagieren statt vorsorgen. Verwalten statt lösen.

- DATEN SAMMELN**
Wasserentnahmeregister, Erfassung und Kontrolle
- REGELN UND PRIORISIEREN**
Trinkwasser hat Vorrang – Nutzungskonflikte verwalten
- VERWALTEN UND PLANEN**
Sicherungspläne, Behörden, Prozesse, Konzepte
- KRISEN REAGIEREN**
Maßnahmen erst, wenn Wasser fehlt

✘ REAKTIV. ABHÄNGIG. VERWUNDBAR.
 Zukunft riskieren. Versorgung gefährden.

WASSER SICHERN

AUTARKIE STÄRKEN – RESILIENZ AUFBAUEN

Vorsorgen. Innovation nutzen. Zukunft sichern.

- VERBRAUCH REDUZIEREN**
Effizienz steigern, Verluste vermeiden, intelligent nutzen
- WASSER WIEDERVERWENDEN**
Gebrauchtwasser aufbereiten und mehrfach nutzen
- WASSER ERZEUGEN**
Atmospheric Water Generation (AWG): Wasser aus der Luft – mit Hilfe von Tag- und Nachttemperatur-Differenzen
- LANDWIRTSCHAFT STÄRKEN**
Dezentrale Versorgungssysteme für eine resiliente Landwirtschaft

✔ PROAKTIV. AUTARK. RESILIENT.
 Zukunft sichern. Versorgung gewährleisten.

WASSERPOLITIK NEU DENKEN.
 FÜR EIN AUTARKES UND RESILIENTES ÖSTERREICH.

VERSORGUNG SICHERN
Heute und in Zukunft

UNABHÄNGIGKEIT STÄRKEN
Weniger Abhängigkeit von externen Quellen

LEBENSQUALITÄT ERHALTEN
Für kommende Generationen

WIRTSCHAFT STÄRKEN
Innovation schafft Wertschöpfung

KLIMA ANPASSEN ZUKUNFT GESTALTEN
Nachhaltig. Resilient. Verantwortungsvoll.

WENIGER VERBRAUCH. MEHR KREISLAUF. EIGENE WASSERERZEUGUNG. | AUTARKIE IST SICHERHEIT. | RESILIENZ IST ZUKUNFT.

Auch wenn sie trocken wirkt, enthält Luft immer etwas Feuchtigkeit (Wasserdampf). AWG-Geräte nutzen dieses Prinzip

Reinhard Fellner



Atmospheric Water Generation (AWG): Physikalische Grundlagen, Technologien und Anwendungspotenziale

1. Einleitung

Die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser stellt eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Aufgrund von Klimawandel, Bevölkerungswachstum und zunehmender Industrialisierung verschärft sich die globale Wasserknappheit kontinuierlich. Laut internationalen Organisationen leben bereits heute Milliarden von Menschen in Regionen mit eingeschränktem Zugang zu sicheren Wasserressourcen. Konventionelle Methoden der Wasserversorgung, wie die Nutzung von Grundwasser, Oberflächengewässern oder Entsalzungsanlagen, stoßen dabei sowohl ökologisch als auch ökonomisch zunehmend an ihre Grenzen.

Vor diesem Hintergrund gewinnen innovative Technologien zur alternativen Wassergewinnung an Bedeutung. Eine vielversprechende Methode stellt die sogenannte Atmospheric Water Generation (AWG) dar. Diese Technologie basiert auf der Nutzung von in der Atmosphäre enthaltenem Wasserdampf, der durch physikalische Prozesse extrahiert und anschließend als Trinkwasser aufbereitet werden kann. Da die Atmosphäre als nahezu ubiquitär verfügbare Wasserquelle betrachtet werden kann, bietet AWG das Potenzial für eine dezentrale und ortsunabhängige Wasserversorgung.

Die grundlegende Funktionsweise von AWG-Systemen beruht auf thermodynamischen Prinzipien, insbesondere auf der Kondensation von Wasserdampf. Dabei wird feuchte Luft unter den Taupunkt abgekühlt, wodurch der enthaltene Wasserdampf in flüssiges Wasser übergeht. Alternativ existieren sorptionsbasierte Verfahren, bei denen hygroskopische Materialien Wassermoleküle aus der Luft aufnehmen und durch gezielte Energiezufuhr wieder freisetzen. Beide Ansätze weisen spezifische Vor- und Nachteile hinsichtlich Energieeffizienz, technischer Komplexität und Einsatzbereich auf.

Trotz des hohen technologischen Potenzials ist die praktische Anwendung von AWG-Systemen stark von klimatischen Rahmenbedingungen abhängig. Insbesondere Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit beeinflussen maßgeblich die Menge des extrahierbaren Wassers sowie den erforderlichen Energieaufwand. Während in tropischen und subtropischen Regionen hohe Effizienzen erreicht werden können, ist die Leistungsfähigkeit in gemäßigten Klimazonen wie Mitteleuropa deutlich eingeschränkt. Dennoch könnten AWG-Systeme auch hier eine ergänzende Rolle in der Wasserversorgung spielen, insbesondere in dezentralen Anwendungen oder in Kombination mit erneuerbaren Energien.

Ziel dieser Arbeit ist es, die technologischen Grundlagen und die Effizienz von AWG-Systemen zu analysieren sowie deren Anwendungspotenzial unter mitteleuropäischen Klimabedingungen zu bewerten. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer vergleichenden Betrachtung ausgewählter Regionen, wie dem Weinviertel und Kärnten, die sich hinsichtlich ihrer klimatischen Charakteristika unterscheiden. Durch die Kombination von theoretischer Analyse und quantitativer Modellrechnung sollen fundierte Aussagen über die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit von AWG in diesen Regionen getroffen werden.

2. Physikalische Grundlagen der Wassergewinnung aus Luft

2.1 Wasserdampfgehalt der Atmosphäre

Die Atmosphäre enthält abhängig von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit variable Mengen an Wasserdampf. Warme Luft kann signifikant mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte Luft, was durch die Clausius-Clapeyron-Beziehung beschrieben wird.

2.2 Kondensation und Taupunkt

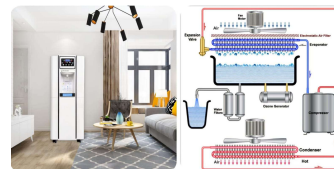
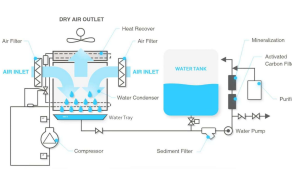
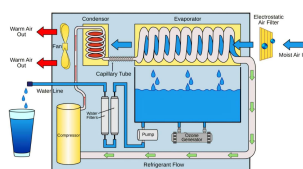
Der zentrale physikalische Prozess der AWG ist die Kondensation. Diese tritt ein, wenn Luft unter den **Taupunkt** abgekühlt wird, sodass der Wasserdampf in flüssige Phase übergeht. Der Taupunkt ist somit eine entscheidende Kenngröße für die Effizienz eines AWG-Systems.

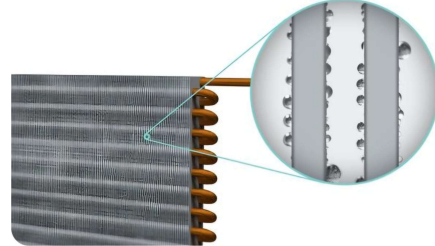
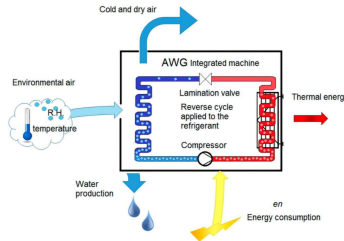
2.3 Latente Wärme und Energiebedarf

Die Phasenumwandlung von Wasserdampf zu Flüssigkeit setzt latente Wärme frei. Gleichzeitig muss dem System Energie zugeführt werden, um die Luft abzukühlen. Der Energiebedarf ist daher eng mit thermodynamischen Prozessen verbunden und stellt eine zentrale Herausforderung dar.

3. Technologische Ansätze der AWG

3.1 Kondensationsbasierte Systeme





Diese Systeme arbeiten ähnlich wie Klimaanlage:

- Ansaugung feuchter Luft
- Abkühlung mittels Kältemittelkreislauf
- Kondensation an Wärmetauschern
- Sammlung des Wassers

Vorteile:

- Technologisch ausgereift
- Hohe Produktionsraten bei hoher Luftfeuchtigkeit

Nachteile:

- Hoher Energieverbrauch
- Geringe Effizienz bei trockener Luft

3.2 Sorptionsbasierte Systeme

Diese Systeme nutzen hygroskopische Materialien (z. B. Silikagel oder Metal-Organic Frameworks), die Wasserdampf binden:

- Adsorption von Wasserdampf
- Thermische Desorption durch Erwärmung
- Kondensation des freigesetzten Wassers

Vorteile:

- Funktioniert auch bei niedriger Luftfeuchte
- Potenzial für solarbetriebene Systeme

Nachteile:

- Komplexere Materialsysteme
- Teilweise geringere Durchsatzraten



4. Systemkomponenten und Wasseraufbereitung

Ein vollständiges AWG-System umfasst:

- Luftfiltersystem (Partikel, Staub)
- Wärmetauscher/Kondensator
- Wassersammelsystem
- Aufbereitungseinheit (UV, Aktivkohle, Mineralisierung)

Die Wasserqualität ist in der Regel hoch, da Wasserdampf praktisch frei von gelösten Schadstoffen ist. Dennoch ist eine Nachbehandlung notwendig, um mikrobiologische Sicherheit und mineralische Zusammensetzung zu gewährleisten.

5. Energieeffizienz und Leistungsparameter

5.1 Spezifischer Energieverbrauch

Der Energieverbrauch liegt typischerweise bei:

- 0,3 – 0,5 kWh/L (optimale Bedingungen)
- 0,5 – 1,0 kWh/L (mittlere Bedingungen)
- 1,0 kWh/L (trockene Luft)

5.2 Einfluss klimatischer Faktoren

Die Effizienz hängt stark ab von:

- Lufttemperatur
- relativer Luftfeuchtigkeit
- Luftvolumenstrom

Hohe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit führen zu maximaler Wasserproduktion.

6. Anwendungspotenziale und Einsatzbereiche

6.1 Dezentrale Wasserversorgung

AWG eignet sich für:

- abgelegene Regionen
- Inseln und Wüstengebiete
- Katastrophenhilfe



6.2 Industrielle und militärische Anwendungen

- Versorgung von Einsatzgebieten ohne Infrastruktur
- Kombination mit erneuerbaren Energien

6.3 Haushaltsanwendungen

Kleinere Systeme ermöglichen eine ergänzende Wasserversorgung, sind jedoch aktuell oft noch kostenintensiv.

7. Beispielrechnung: Wassergewinnung aus Luft

7.1 Modellannahmen

Für die Berechnung wird ein typisches AWG-System angenommen:

- Luftvolumenstrom: $\dot{V} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
- Betriebsdauer: $t = 24 \text{ h}$
- Wirkungsgrad: $\eta = 0,4(40 \%)$

7.2 Absolute Luftfeuchtigkeit

Die maximale Wasserdampfmenge hängt von der Temperatur ab. Für $20 \text{ }^\circ\text{C}$ gilt:

$$\rho_{max} \approx 17,3 \text{ g/m}^3$$

Bei relativer Luftfeuchtigkeit $\phi = 60\%$:

$$\rho = \phi \cdot \rho_{max} = 0,6 \cdot 17,3 = 10,38 \text{ g/m}^3$$

7.3 Theoretische Wassergewinnung

Gesamtluftvolumen pro Tag:

$$V_{Tag} = \dot{V} \cdot t = 500 \cdot 24 = 12.000 \text{ m}^3$$

Theoretisch enthaltene Wassermenge:

$$\begin{aligned} m_{the} &= \rho \cdot V_{Tag} = 10,38 \cdot 12.000 \\ m_{theo} &= 124.560 \text{ g} = 124,56 \text{ L} \end{aligned}$$

7.4 Reale Wasserproduktion

Mit Wirkungsgrad:

$$m_{real} = \eta \cdot m_{theo}$$

$$m_{real} = 0,4 \cdot 124,56 = 49,8 \text{ L/Tag}$$

7.5 Energiebedarf

Typischer Verbrauch:

$$E = 0,5 \text{ kWh/L}$$

$$E_{Tag} = 49,8 \cdot 0,5 = 24,9 \text{ kWh}$$

7.6 Kostenabschätzung

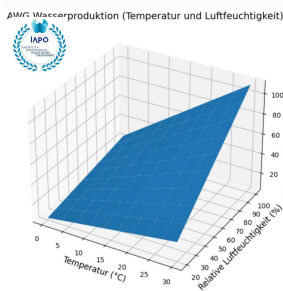
Bei Strompreis:

$$c = 0,30 \text{ €/kWh}$$

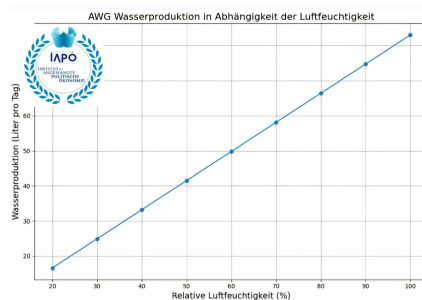
$$\text{Kosten} = 24,9 \cdot 0,30 = 7,47 \text{ €/Tag}$$

7.7 Interpretation

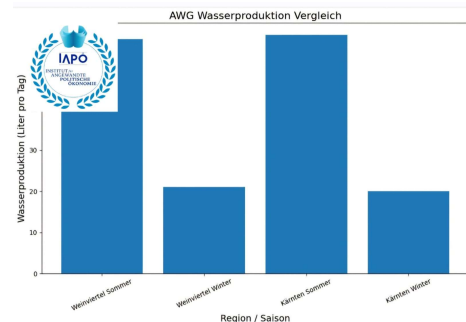
- Realistisch: ~50 Liter pro Tag
- Energieaufwand relativ hoch
- Effizienz stark klimaabhängig



Dreidimensionale Darstellung der Wasserproduktion eines Atmospheric Water Generation (AWG)-Systems in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit



Abhängigkeit der täglichen Wasserproduktion eines AWG-Systems von der relativen Luftfeuchtigkeit



Vergleich der täglichen Wasserproduktion eines AWG-Systems in unterschiedlichen Regionen und Jahreszeiten

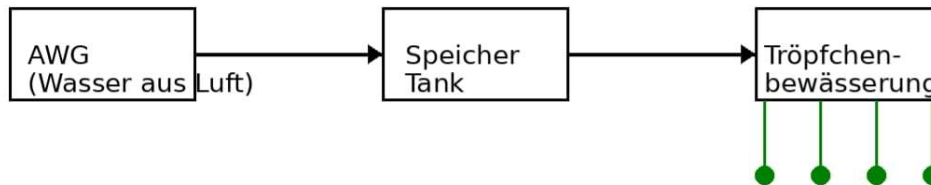


8. Tröpfchenbewässerung

8.4 Kombination von AWG und Tröpfchenbewässerung



AWG + Tröpfchenbewässerung System



Ein vielversprechender Ansatz zur Effizienzsteigerung von AWG-Systemen in der Landwirtschaft ist die Kombination mit der sogenannten **Tröpfchenbewässerung** (engl. *drip irrigation*). Diese Bewässerungsmethode wurde ursprünglich in Israel entwickelt und zeichnet sich durch eine hochpräzise Wasserapplikation direkt im Wurzelbereich der Pflanzen aus.

Bei der Tröpfchenbewässerung werden perforierte Schläuche entweder auf der Bodenoberfläche oder unterirdisch verlegt. Über integrierte Tropfer wird Wasser kontinuierlich in sehr kleinen Mengen abgegeben. Dadurch wird die Verdunstung minimiert und die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen maximiert.

Vergleich: Hochquellenwasser vs. Tröpfchenbewässerung

Kriterium	Hochquellen / Sprinkler	Tröpfchenbewässerung
Wasserverlust	hoch (Verdunstung)	sehr gering
Effizienz	mittel	sehr hoch
Energiebedarf	höher	niedriger
Präzision	gering	sehr hoch
Investition	gering	höher



8.4.1 Technische Synergieeffekte

Die Kombination von AWG und Tröpfchenbewässerung bietet mehrere Vorteile:

- **Minimierung von Wasserverlusten:**
Das durch AWG erzeugte Wasser wird direkt und effizient genutzt, wodurch Verluste durch Verdunstung oder Oberflächenabfluss reduziert werden.
- **Optimale Nutzung geringer Wassermengen:**
Da AWG-Systeme in mitteleuropäischen Klimazonen begrenzte Wassermengen liefern (z. B. ~20–60 L/Tag), ist eine präzise Verteilung entscheidend.
- **Geringer Druckbedarf:**
Tröpfchenbewässerung arbeitet mit niedrigem Wasserdruck, was gut mit AWG-Systemen kompatibel ist.
- **Dezentrale Versorgung:**
AWG kann lokal Wasser erzeugen, das direkt im Feld genutzt wird, ohne komplexe Infrastruktur.

8.4.2 Anwendungspotenzial in Mitteleuropa

In Regionen wie dem Weinviertel, die durch vergleichsweise geringe Niederschläge geprägt sind, kann die Kombination aus AWG und Tröpfchenbewässerung besonders sinnvoll sein. Während AWG die Wasserquelle bereitstellt, sorgt die Tröpfchenbewässerung für eine effiziente Nutzung.

Auch in Kärnten kann dieses System in spezialisierten Anwendungen wie Gewächshäusern oder Sonderkulturen eingesetzt werden. Besonders interessant ist der Einsatz in:

- Weinbau
- Gemüseproduktion
- Obstplantagen
- Gewächshausanlagen

8.4.3 Wirtschaftliche und ökologische Bewertung

Die Kombination beider Systeme führt zu:

- **Reduktion des Wasserverbrauchs um bis zu 70 %**
- **Verbesserter Ressourceneffizienz**
- **Reduzierter Nährstoffauswaschung**
- **Potenzial zur CO₂-Reduktion bei Nutzung erneuerbarer Energie**

Jedoch sind auch Herausforderungen zu berücksichtigen:

- Höhere Investitionskosten



- Wartungsaufwand (z. B. Verstopfung von Tropfern)
- Begrenzte Wasserproduktion durch AWG

9. Zusammenfassung

9.1 Atmospheric Water Generation (AWG)

Die vorliegende Arbeit behandelt die Technologie der *Atmospheric Water Generation (AWG)*, welche die Gewinnung von Trinkwasser direkt aus der Atmosphäre ermöglicht. Angesichts zunehmender globaler Wasserknappheit stellt AWG eine innovative und dezentrale Alternative zu konventionellen Wasserversorgungssystemen dar.

Die Funktionsweise von AWG basiert auf grundlegenden physikalischen Prinzipien der Thermodynamik. Insbesondere spielt die Kondensation von Wasserdampf eine zentrale Rolle. Wird feuchte Luft unter den **Taupunkt** abgekühlt, geht der enthaltene Wasserdampf in flüssige Form über und kann gesammelt werden.

Neben kondensationsbasierten Systemen existieren auch sorptionsbasierte Technologien, bei denen hygroskopische Materialien Wasserdampf aufnehmen und anschließend wieder freisetzen.

Die Effizienz solcher Systeme hängt maßgeblich von klimatischen Bedingungen wie Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit ab. Warme und feuchte Luft ermöglicht eine deutlich höhere Wasserproduktion als kalte und trockene Luft. Dies wurde im Rahmen der Arbeit durch eine Beispielrechnung quantifiziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass AWG eine technisch funktionierende und vielversprechende Methode zur Wassergewinnung darstellt. In Mitteleuropa ist die Effizienz jedoch stark saisonabhängig. Die Forschungsfragen können wie folgt beantwortet werden:

- AWG ist klimatisch stark abhängig, aber grundsätzlich funktionsfähig
- Kondensationssysteme sind aktuell dominierend, Sorptionssysteme zukunftssträftig
- Wirtschaftlichkeit ist derzeit eingeschränkt, könnte sich aber verbessern

Zukünftige Forschung sollte sich auf energieeffiziente Technologien, neue Materialien und die Integration erneuerbarer Energien konzentrieren.

9.2 Atmospheric Water Generation (AWG)

Die Kombination von Atmospheric Water Generation und Tröpfchenbewässerung stellt einen innovativen Ansatz für eine nachhaltige Landwirtschaft dar. Während AWG eine alternative Wasserquelle erschließt, ermöglicht die Tröpfchenbewässerung eine hoch effiziente Nutzung dieser Ressource.



Institut für Angewandte Politische Ökonomie

Insbesondere in wasserlimitierten Regionen oder bei steigender klimatischer Variabilität könnte diese Kombination zukünftig an Bedeutung gewinnen. Weitere Forschung ist notwendig, um die Systeme wirtschaftlich zu optimieren und ihre Skalierbarkeit zu verbessern.

„Die Kombination von AWG mit präzisen Bewässerungssystemen wie der Tröpfchenbewässerung stellt einen integrativen Ansatz dar, der sowohl Wasserverfügbarkeit als auch Nutzungseffizienz adressiert.“