

Heiße Luft – eine Luftnummer!

Ein oft wiederholtes Narrativ im Zusammenhang mit Extremregen lautet: „**Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen, wodurch das Potenzial für Starkniederschläge steigt.**“

Doch ist das wirklich so? Kann etwas, das stimmig klingt und physikalisch korrekt erscheint, möglicherweise auch falsch sein? Diese Frage soll im Folgenden diskutiert werden.

Wasser - ein besonderer Stoff

Wasser entsteht bei der Verbrennung von Wasserstoff (H) mit Sauerstoff (O). Dabei verbrennen 1 kg Wasserstoff mit 8 kg Sauerstoff zu 9 kg Wasser (H₂O) und setzen dabei eine Energie von 33 kWh frei. Zwei leichte Wasserstoffatome (Atommasse = 1) verbinden sich mit einem schweren Sauerstoffatom (Atommasse = 16) zu einem Wassermolekül (Molekülmasse = 18).

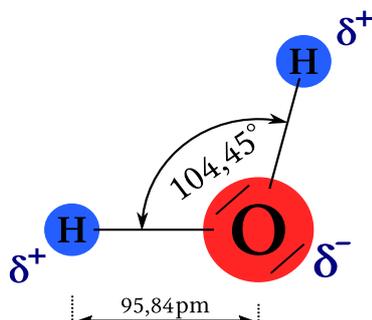


Abbildung: Bildquelle Wikipedia

Aufgrund der positiven Ladung des Wasserstoffs und der negativen Ladung des Sauerstoffs ziehen sich beide Atome an. Gleichzeitig stoßen sich die beiden positiv geladenen Wasserstoffatome ab. Dies führt zu einer unsymmetrischen Anordnung (siehe Abbildung¹) und damit zu einer ungleichen Ladungsverteilung, auch Ladungsverschiebung genannt, die als Polarität des Wassermoleküls bezeichnet wird. Durch diese Polarität ziehen sich die Wassermoleküle gegenseitig an (Wasserstoffbrückenbindung) und bilden variable Cluster. Ein Wassertropfen oder die Oberflächenspannung des Wassers werden dadurch verursacht.

Wasser existiert in drei Aggregatzuständen fest (Eis), flüssig (Wasser) und gasförmig (Dampf). Die Eigenschaften des Wassers verändern sich mit den Aggregatzuständen. Vom Abtauen des Gefrierschranks ist bekannt, dass für diesen Vorgang viel Wärmeenergie erforderlich ist bzw. zugeführt werden muss.

Wärme und Temperatur

Die Begriffe Temperatur und Wärme sind unmittelbar miteinander verbunden. Mit Temperatur wird der aktuelle energetische Wärmezustand eines Stoffes beschrieben, während Wärme für die Bewegungsenergie der Teilchen des Stoffes steht. Mit der spezifischen Wärmekapazität wird angegeben, wieviel Wärmeenergie benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen. Die spezifische Wärmekapazität für Wasser hängt in einem geringen Maße von der Temperatur ab. Sie beträgt für die verschiedenen Aggregatzustände unter Normalbedingungen circa:

Eis	2 kJ/kg*K	Wasser	4,2 kJ/kg*K	Wasserdampf	2 kJ/kg*K
-----	-----------	--------	-------------	-------------	-----------

Um 1 kg Eis von -25 °C auf 0 °C zu erwärmen, muss eine **Energiemenge** in Höhe von 25 K * 2 kJ/kg*K = **50 kJ** zugeführt werden.

Beim Erreichen der Temperatur von 0 °C ist das Eis aber noch nicht geschmolzen. Um Eis in Wasser zu überführen, muss zusätzliche Wärmeenergie zugeführt werden, die als Schmelzwärme (oder auch Schmelz-Enthalpie) bezeichnet wird. Diese Energie ist erforderlich, um die Bindungskräfte der Moleküle im Kristallgitter zu überwinden. Während des Schmelzvorganges bleibt die Temperatur konstant. Die spezifische Schmelzwärme von Wasser beträgt etwa 333 kJ/kg. Um 1 kg Eis zu schmelzen ist damit eine zusätzliche Energiemenge von **333 kJ**

¹ Von Paddy:derivative work: Sgbeer (talk) - Watermolecule.png, CC BY-SA 2.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14629068>

erforderlich. So wird aus Eis kaltes Wasser mit einer Temperatur von 0 °C. In Summe beträgt die erforderliche Wärmeenergie zum Erwärmen und Schmelzen des Eises **383 kJ**.

Um dieses kalte Wasser von 0 °C auf die Verdampfungstemperatur von 100 °C zu erwärmen, muss weitere Energie kontinuierlich zugeführt werden. Für eine Temperaturerhöhung um 1 K ist eine Energiemenge von etwa 4,20 kJ/kg erforderlich. Die zusätzliche Energiemenge zur Erhitzung von 1 kg Wasser von 0 auf 100 °C beträgt somit **420 kJ**.

Hat das Wasser die Verdampfungstemperatur von 100 °C erreicht, bildet sich bei weiterer Energiezufuhr Wasserdampf. Die Temperatur bleibt auch hier während der Änderung des Aggregatzustandes konstant, da - ähnlich wie beim Schmelzen - die Bindungskräfte zwischen den jetzt freien Wassermolekülen überwunden werden müssen. Die hierzu erforderliche Energie nennt man Verdampfungswärme (oder auch Verdampfungsenthalpie). Der Wert von **2.257 kJ/kg** zeigt, dass eine erhebliche Menge an Energie erforderlich ist, um diesen Phasenübergang zu erreichen.

Fazit 1:

Um 1 kg Wasser vom Zustand Eis mit -25 °C zu verdampfen, ist eine Energiemenge von $383 + 420 + 2.257 \text{ kJ} = \mathbf{3.060 \text{ kJ}}$ erforderlich – eine enorme Menge!

Den Effekt der Verdampfung und der Notwendigkeit der kontinuierlichen Energiezufuhr kennen alle vom Kochtopf. Auch beim Kochtopf muss bis zum Erreichen des Siedepunktes bzw. dem Kochen und dem darauffolgenden vollständigen Verdampfen, ständig Energie in Form von Wärme zugeführt werden. Wasser verdampft auch unter Druck bzw. baut Druck auf, wie wir vom geschlossenen Dampfdrucktopf oder dem Dampfbügeleisen her kennen.

In der Natur verläuft der Vorgang des Verdampfens bzw. Verdunstens auf ähnliche Weise, wobei die Sonne die Rolle des Herdes übernimmt. Die Energie der Sonne schwankt zwar geringfügig, ist aber im Durchschnitt konstant und als fixer Wert in der Solarkonstante definiert.²

Wasser verdunstet auch bei niedrigeren Temperaturen, wie man es vom Wäschetrocknen an der Luft kennt. Dafür ist ebenfalls Energie erforderlich, welche als Verdunstungswärme bezeichnet wird und in etwa der Verdampfungswärme in Höhe von 2.460 kJ/kg (für Wasser bei 15 °C) entspricht. Diese Energie wird benötigt, um die Wasserstoffbrückenbindungen zu lösen, damit einzelne Wassermoleküle entweichen können. Beim Baden in einer windigen Umgebung lässt sich der Effekt der Verdunstungskälte gut auf der nassen Haut spüren.

Die erforderliche Verdampfungsenthalpie bei Wasser ist etwa 2.500-mal höher als die Energie, die zur Erwärmung der gleichen Menge Luft benötigt wird. Das bedeutet: Wenn Wasser oder Feuchtigkeit zur Verdunstung vorhanden ist, erwärmt sich die Luft langsamer.

Die Pflanzen nutzen die Verdunstung zur Temperaturregulation. Deshalb ist es in Wäldern bei hohen Temperaturen immer kühler. Erst wenn kein Wasser mehr zur Verdunstung über die Blätter vorhanden ist, trocknet die Pflanze aus und stirbt ab.

Fazit 2:

Die Verdunstung erfordert große Mengen an Energie! Wenn also das eingangs erwähnte Narrativ stimmen soll, dann muss irgendwoher die erforderliche Energie kommen.

Nachdem die Energie der Sonne sich aber nicht verändert, dann kann das Narrativ auch nicht stimmen. Schließlich haben wir die Situation mit höherer Sonneneinstrahlung im Bereich der Inertropischen Konvergenzzone um den Äquator seit Jahrhunderten. Aufgrund der höheren Verdunstung sind die Temperaturen nahezu das ganze Jahr über konstant und das verdunstende

² Manfred Brugger, (2024) – Windwahn – Der Windwahn und seine klimatischen Konsequenzen, Seite 48

Wasser regnet über den Regenwäldern ab. Höhere Temperaturen passen demnach nicht ins Bild des Narrativs „**Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen, wodurch das Potenzial für Starkniederschläge steigt.**“, weil mehr Wasser höhere Verdunstungswärme bedeutet und damit die Temperatur sinken müsste. Was in unseren Breiten so aber nicht erfolgt!

Fazit 3:

Das Narrativ ist demnach definitiv falsch!

Was ist dann der Grund für Starkniederschläge?

In unseren zubetonierten Städten mit gepflasterten und asphaltierten Plätzen, in denen Bäume, Grünflächen und Wasser oft komplett fehlen, kommt es unweigerlich zu Aufheizung und zum Hitzestau. Hitze und Trockenheit sind deshalb immer miteinander verbunden.

Wasser und Luft

Es ist bekannt und nichts Neues, dass warme Luft erheblich mehr Wasserdampf aufnehmen kann als kalte Luft. Die Menge des maximalen Wasserdampfgehaltes in der Luft (Sättigung) wird als absolute Luftfeuchtigkeit in g/kg angegeben. Luft ist in der Regel aber nicht gesättigt. Das Verhältnis der aktuellen absoluten Luftfeuchtigkeit zur maximal möglichen Luftfeuchtigkeit wird prozentual als relative Luftfeuchtigkeit ausgedrückt. Auch die relative Luftfeuchtigkeit ändert sich mit der Temperatur.

Wird warme, feuchte Luft abgekühlt, erhöht sich die relative Feuchte bis zu 100 %. Bei darüber hinaus gehendem Abkühlen kommt es zur Tauwasserbildung. Beim Aufstieg feuchtwarmer Luft in die kühlere höhere Atmosphäre kommt es bei Übersättigung schließlich zur Wolkenbildung und zum Abregnen (Siehe Regenwaldgebiete). Bei kontinuierlicher Erwärmung kann Luft immer mehr Wasserdampf aufnehmen, wer also sagt dem Wasserdampf: Halt, jetzt ist genug? Aber auch hierzu hat die Physik der Atmosphäre eine passende Antwort parat. Luft kann nämlich nicht unendlich viel, sondern nur eine begrenzte Menge an Wasserdampf aufnehmen.³

Beim Aufstieg von feuchtwarmer Luft werden die sich dabei bildenden Wolken immer wasserreicher und dichter. Durch zunehmende Wolkenbildung und zunehmende Reflexion von Sonnenstrahlung auf der oberen Wolkenseite wird die Wärmezufuhr zur Erde gedrosselt und die Verdunstung reduziert. Durch Aufstieg und Abkühlung wird irgendwann die Sättigungskurve erreicht, es kommt zur Änderung des Aggregatzustandes, Wasserdampf kondensiert und verflüssigt sich zu einsetzendem Regen oder verfestigt sich zu Schnee oder Eis, welcher als Schneefall oder als Hagel in Erscheinung tritt.

Die jährliche Verdunstungsrate liegt bei ca. 430 .000 km³ über den Ozeanen und bei 70 .000 km³ über dem Festland. Das atmosphärische Wasser wird ca. 38 bis 39-mal umgewälzt. Der damit verbundene Wärmetransport von der Erdoberfläche (Verdunstung) an die äußere Atmosphäre (Kondensation) beträgt $1,25 \cdot 10^6$ Exajoule.⁴

Diese Zahl ist bemerkenswert, denn im Vergleich mit der jährlich einstrahlenden Sonnenenergie auf die Erde in Höhe von $3,835 \cdot 10^6$ Exajoule wird damit rund ein Drittel der gesamten Energie allein durch den Wasserkreislauf wieder abgeführt. Und das funktioniert seit Jahrhunderten so.

Wenn also, wie oft behauptet wird, mehr Wasser in der Luft ist, dann muss die Frage erlaubt sein, woher plötzlich diese Energie kommt, welche dieses zusätzliche Wasser in die Atmosphäre pumpt? Schließlich sind Temperatur und Energie völlig unterschiedlich zu bewerten. Und die

³ Manfred Brugger, (2024) – Windwahn – Der Windwahn und seine klimatischen Konsequenzen, Seite 69

⁴ Manfred Brugger, (2024) – Windwahn – Der Windwahn und seine klimatischen Konsequenzen, Seite 73

Antwort ist ganz einfach, es gibt diese Energie nicht. Insbesondere im Frühjahr und im Herbst bilden sich nach den ersten sonnigen Tagen oft Hochnebel aus. Obwohl die Sonne mit der gleichen Intensität scheint, schafft sie es oft nicht, die Nebelfelder wieder aufzulösen.

Was ist dann also der Grund für die zunehmenden Starkniederschläge?

Die Energie für die Verdunstung liefert die Sonne. Sie liefert auch die Energie für den Wind. Der Wind transportiert und verteilt den Wasserdampf.

Energie kann nicht erzeugt, sondern nur umgewandelt werden. In der Photovoltaik wird die Energie der Lichtquanten genutzt, bei der Windenergienutzung wird dem troposphärischen System Strömungsenergie (kinetische Energie) aus der strömenden Luftmasse entzogen und über den drehenden Rotor in mechanische Energie und diese im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Entzug von Strömungsenergie bedeutet Abbremsen. Windenergie ist damit auch nicht erneuerbar und der Begriff hier falsch.

Was das für den Wasserdampftransport bedeutet, wird hier am Beispiel einer Vestas-Turbine V172-7.2 MW mit Rotordurchmesser 172 m erläutert. Die vom Rotor überstrichene Fläche beträgt rd. 23.200 m².

Unter der realistischen Annahme, dass die Windgeschwindigkeit von 14 m/s auf 7 m/s reduziert wird, werden damit 23.200 m² * 7 m/s = 162.400 m³/s an Luftmasse weniger transportiert (Infolge des Bremsvorganges). Bei einem Wasserdampfanteil von etwa 15 g/m³ Luft bedeutet dies, dass 162.400 m³/s * 15 g/m³ = 2.436.000 g/s = 2.436 kg/s bzw. 2,436 m³/s = 146 m³/min oder eine Wassermenge von **8.770 m³/h** nicht mehr transportiert wird.

Eine einzige Turbine beeinflusst also theoretisch die natürliche Wasserdampfverteilung bereits mit knapp 9.000 m³ Wasser pro h bzw. mehr als 200.000 m³ Wasser pro Tag. In einem Jahr entspricht dies dem jährlichen Trinkwasserverbrauch von rund 500.000 Haushalten.

Theoretisch deshalb, weil die Turbinen nur zu rund einem Fünftel unter Vollast laufen. Aber genau dann, wenn viel Luft bewegt wird und strömt, richten sie den größten Schaden an!

Fazit:

Wenn also nicht mehr Wasser in der Luft ist, kann das nur bedeuten, dass der Wasserdampf nicht mehr gleichmäßig verteilt wird. Und der Grund hierfür dürfte im Energieentzug aus dem troposphärischen System als Folge der Windenergieabschöpfung zu finden sein.

Windstrom oder Windenergie entsteht durch Umwandlung der Energie strömender Luftmassen. Die Luftströmungen werden dadurch massiv abgebremst. Windenergienutzung ist damit weder regenerativ noch grün, sondern der massivste Eingriff in das troposphärische System seit Menschengedenken. Irrweg Windwahn!

Manfred Brugger im Dezember 2024

<https://manfred-brugger.de>