

# Abschätzung Ökobilanz "Kaltes Trinkwasser "

von Gabor Doka, Doka Ökobilanzen, Zürich, Juli 2001

Die Frage wird gestellt, ob es ökologischer sei:

- A Trinkwasser am Hahn laufen zu lassen, bis es kalt fliesst  
oder
- B Trinkwasser mit Eiswürfeln zu kühlen, um es auf die gewünschte Temperatur zu bringen  
oder
- C Trinkwasser im Kühlschrank kühl zu stellen, um es auf die gewünschte Temperatur zu bringen.

um kaltes Trinkwasser zu erhalten.

Zurest einmal muss bemerkt werden, dass die drei genannten Vorgehen in Realität nicht genau dieselben "Dienstleistungen" erbringen. Das Trinkwasser ab Hahn fließen zu lassen (Var. A) bringt die Temperatur nicht beliebig tief. Die zu erzielende Temperatur ist vom Klima, Bodentemperatur etc. abhängig. In der Schweiz ist so Trinkwasser mit einer Temperatur von ca. 8°C zu erreichen. Mit Eiswürfeln (Var. B) dagegen lässt sich Wasser bis annähernd 0°C abkühlen. Im Kühlschrank eingestellt (Var. C) wird das Wasser ca. 4°C kalt (je nach Kühlschrankeinstellung).

Damit die Varianten sich **fair** vergleichen lassen, **müssen** sie sich aber auf dieselbe Menge Wasser und dieselbe 'Temperatur-Dienstleistung' beziehen. Die Massgabe der unflexibelsten Variante (A) wird übernommen:

**Untersucht wird die Bereitstellung von einem Liter  
Trinkwasser mit einer Temperatur von 8°C.**

Bei der Variante A wird das Wasser ab Hahn laufen gelassen, bis sich das Wasser auf 8°C abgekühlt hat.

Bei der Variante B werden nur soviel Eiswürfel ins Hahnenwasser gegeben, damit sich das Wasser auf 8°C abkühlt.

Bei der Variante C wird das Wasser nur auf 8°C abgekühlt und nicht auf die 4°C, die ein Kühlschrank erreichen kann, damit auch diese Variante dasselbe - und somit vergleichbare - Ergebnis liefert. Dies kann erreicht werden, indem

a) das gekühlte Wasser entweder aus dem Kühlschrank genommen wird, sobald es die 8°C erreicht hat, oder indem

b) das 4° kalte Wasser mit 15° Hahnenwasser versetzt und so wieder aufgewärmt wird.

Hier wird Vorgehen b) gewählt.

**Die Bilanz bezieht sich jeweils auf einen Liter gekühltes Wasser  
(einschliesslich geschmolzene Eiswürfel).**

### **Variante A: Wasser laufen lassen**

Wie erwähnt hängen die Temperaturen des Wassers ab Hahn vom Klima etc. ab. Wie lange es dauert, bis das Wasser 'kalt genug' ist, ist ebenfalls von variablen Umständen abhängig (Temperatur im Haus, Leitungsverlauf im Haus, Leitungsisolierung, Vorkühlung durch häufigen Wasserverbrauch im Haus). Hier kann nur eine Abschätzung vorgenommen werden. Es wird angenommen, dass **das Wasser 2 Minuten laufen muss**, bis es die gewünschte Temperatur erreicht hat (wie oben definiert zu 8°C angenommen). Subjektiv d.h. je nach Körpertemperatur und Zustand der KonsumentIn kann bereits wärmeres Wasser als 'kalt genug' eingeschätzt werden. Hier wird jedoch Wasser mit einem objektiv vergleichbaren Kältemass (8°) betrachtet.

Die Ausflussgeschwindigkeit vom Hahn wird zu ca. **8 Liter/min** angenommen. Es werden also 16 Liter Wasser vergeudet, bevor der Behälter gefüllt wird. Nur ein zusätzlicher Liter wird für den eigentlichen Konsum gebraucht. Total werden hier also 17 Liter Wasser benötigt.

Die indirekte, graue Energie im Trinkwasser beträgt pro Kubikmeter 4 Megajoule Elektrizität (für Trinkwasseraufbereitung und Abwasserentsorgung/Pumpen/Kanalisation, Angaben für Stadt Zürich gem. Hochbauamt). Für 17 Liter werden also 0.068 MJ el. verbraucht (dabei wird vernachlässigt, dass ein Teil des einen, effektiv konsumierten Liter Wassers durch Schwitzen vom Körper entfernt wird und daher gar nicht in die Kanalisation gelangt. Dies spielt jedoch für das Endresultat keine wesentliche Rolle, da der energetische Unterschied zwischen 17 Liter in die Abwasseraufbereitung oder 16.x Liter in die Abwasseraufbereitung gering ist).

### **Variante B: Wasser mit Eiswürfeln kühlen**

In der Variante B wird Hahnenwasser mit Eiswürfeln abgekühlt. Insgesamt wird wieder 1 Liter kaltes Wasser betrachtet. Die Eiswürfel aus dem Gefrier-Fach eines Kühlschranks seien -4°C warm. Das Wasser direkt ab Hahn wurde vorher nicht laufen gelassen und ist ca. 15°C warm (Annahme).

Berechnung der benötigten Eiswürfel: Wird ein Kilogramm Eiswürfel von -4° ins Trinkwasser gegeben, nimmt es bei der Erwärmung auf 8°C total 0.413 Megajoule Wärmeenergie auf (0.079 MJ für Erwärmung, 0.334 MJ für Schmelzen zu Wasser). Ein Kilogramm Hahnenwasser von 15°C gibt bei der Abkühlung auf 8°C 0.029 Megajoule

Wärmeenergie ab. Um nun ein Liter Wasser mit den vereinbarten 8°C zu erhalten, müssen  $29/(413+29)=29/442=6.6$  Gewichts-% bzw. **66 Gramm Eiswürfel** und  $413/(413+29)=93.4$  G-% bzw. **934 Gramm Hahnenwasser gemischt** werden.

Die 66 Gramm Eiswürfel wurden zuvor ebenfalls aus 15°-grädigem Hahnenwasser im Kühlschrank hergestellt. Die Wärmeenergie, die die Eiswürfel im Gebrauch aufnehmen, muss ihnen zuvor im Kühlschrank abgeführt werden. Den 66 Gramm Eiswürfel-Wasser müssen also  $66 \cdot 0.413 = 0.0273$  Megajoule Wärmeenergie im Kühlschrank entfernt werden. Der Kühlschrank habe einen Wirkungsgrad von ca. 19%. Dies entspricht dem **Durchschnitt Schweizer Kühlschränke**; d.h. rund 620 kWh/Jahr und Kühlschrank mit durchschnittlicher Befüllung (gemäss Patrick Hofstetter "Ökobilanz Ökokühlschrank - Ein Vergleich von Kühlschränken traditioneller Bauart mit verschiedenen hochwärmedämmten Varianten". Kurzstudie Büro für Analyse & Ökologie, Zürich, 1996). Die Eiswürfelherstellung (nur Abkühlung) benötigt daher 0.155 Megajoule Elektrizität (für 66 Gramm).

Die Eiswürfel werden meist nicht unmittelbar gebraucht, sondern werden eine Weile im Kühlschrank gelagert. Der Kühlschrank benötigt laufend Energie um die tiefere Temperatur im Innern des Kühlschranks gegenüber der wärmeren Umgebung aufrecht zu erhalten. Es wird angenommen, dass **die Eiswürfel rund 1 Tag im Kühlschrank bleiben**. Die Eiswürfel benötigen für diese Lagerung 0.0018 Megajoule Elektrizität.

Die Energie und andere Umweltbelastungen (z.B. Freon-Kältemittel) aus der Herstellung und Entsorgung des Kühlschranks selber, von dem ein Anteil auch auf die Eiswürfelproduktion zu überwälzen wäre, sind im Vergleich zum Betriebsstromverbrauch unbedeutend und werden hier vernachlässigt.

Die gesamthaft 1000 Gramm benötigtes Hahnenwasser haben eine graue Energie von 0.004 Megajoule Elektrizität (dabei wird vernachlässigt, dass ein Teil des effektiv konsumierten Liter Wassers durch Schwitzen vom Körper entfernt wird und daher gar nicht in die Kanalisation gelangt. Dies spielt jedoch für das Endresultat keine wesentliche Rolle, da der Beitrag der grauen Energie im Wasser am Gesamtenergiebedarf der vorliegenden Variante B nur rund 2.3 % ist).

Variante B braucht somit total 0.161 Megajoule Elektrizität. Der Wasserverbrauch beträgt 1 Liter. Real dürfte der Wasserverbrauch aufgrund von Verlusten leicht höher liegen, was energetisch jedoch nicht wesentlich ins Gewicht fällt.

## **Variante C: Wasser im Kühlschrank abkühlen**

Bei dieser Variante wird Hahnenwasser in den Kühlschrank gestellt und abgekühlt. Es wird von denselben Randbedingungen wie in Variante B ausgegangen: d.h. das eingesetzte Hahnenwasser hat zu Beginn eine Temperatur von 15°C. Der Kühlschrank

hat einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 19%. Das im Kühlschrank erzeugte Kaltwasser habe eine Temperatur von 4°. Das am Ende konsumierte Wasser soll aber eine Temperatur von 8° haben. Das Kaltwasser wird daher **mit 15° Hahnenwasser versetzt** um 8° warmes Wasser zu erhalten. Für einen Liter 8° Wasser sind **640 Gramm 4° Kaltwasser und 360 Gramm frisches 15° Hahnenwasser** nötig.

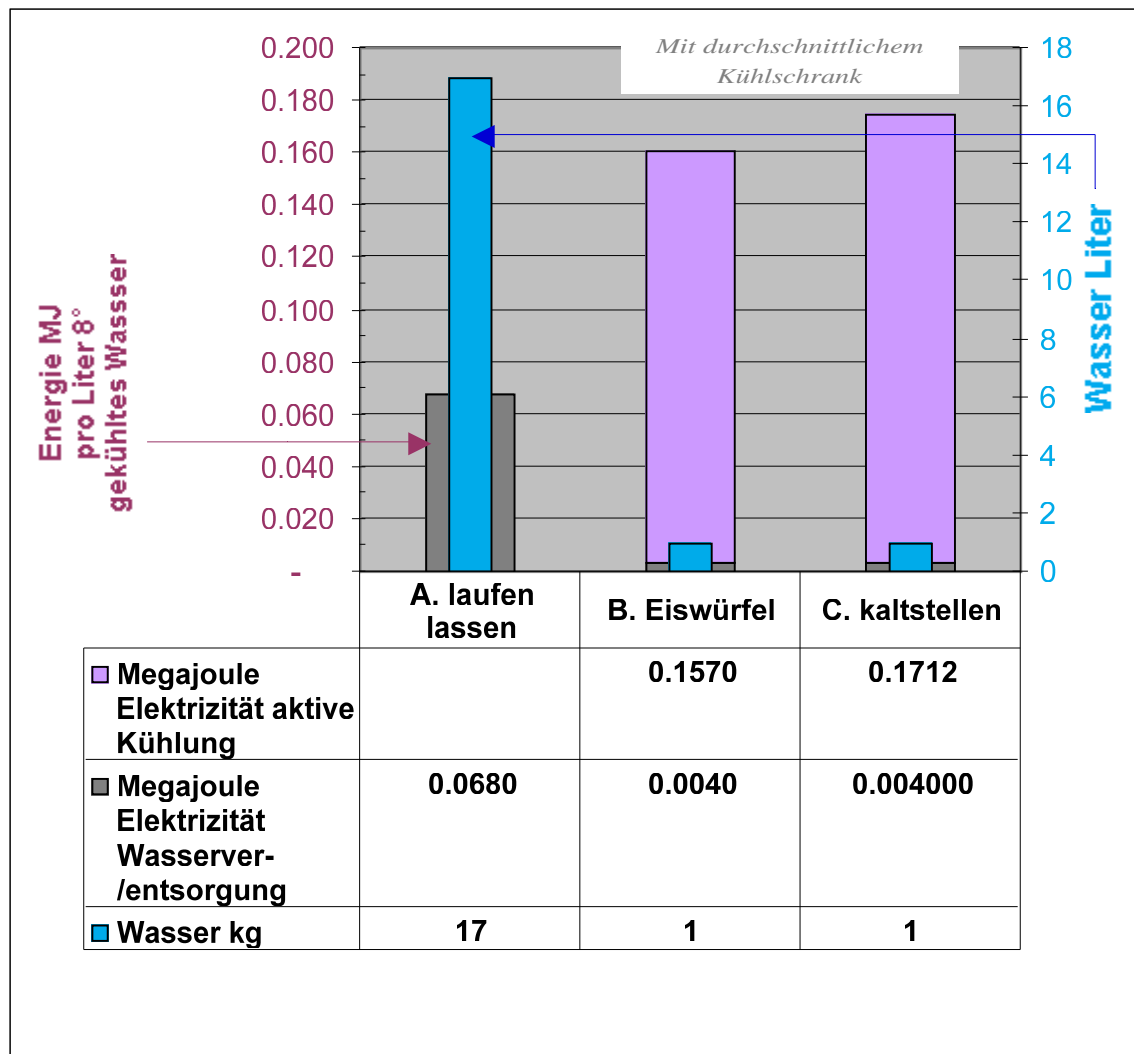
Um die 640 Gramm Kaltwasser im Kühlschrank abzukühlen sind 0.155 Megajoule Elektrizität notwendig.

Auch das Kaltwasser wird – wie die Eiswürfel – meist nicht unmittelbar konsumiert, sondern bleibt eine Weile im Kühlschrank. Es wird angenommen, dass das Kaltwasser 1 Tag im Kühlschrank verbleibt. Das benötigt 0.016 Megajoule Elektrizität.

Die Graue Energie in den 640 Gramm Kaltwasser beträgt 0.0025 Megajoule Elektrizität; die Graue Energie in den 360 Gramm Frischwasser beträgt 0.0015 Megajoule Elektrizität (dabei wird vernachlässigt, dass ein Teil des effektiv konsumierten Liter Wassers durch Schwitzen vom Körper entfernt wird und daher gar nicht in die Kanalisation gelangt. Dies spielt jedoch für das Endresultat keine wesentliche Rolle, da der Beitrag der grauen Energie im Wasser am Gesamtenergiebedarf der vorliegenden Variante C nur rund 2.3 % ist).

Variante C braucht somit total 0.175 Megajoule Elektrizität. Der Wasserverbrauch beträgt 1 Liter.

## Diskussion der Resultate



Alle Resultate geben nur Grössenordnungen wieder. Die Resultate sind – wie in der Analyse oben dargelegt – mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, die durch die jeweiligen Umstände oder Verhaltensweisen bedingt sind. Man sollte sich also davor hüten aus kleinen relativen Unterschieden zwischen den Varianten bedeutsame Schlussfolgerungen zu ziehen.

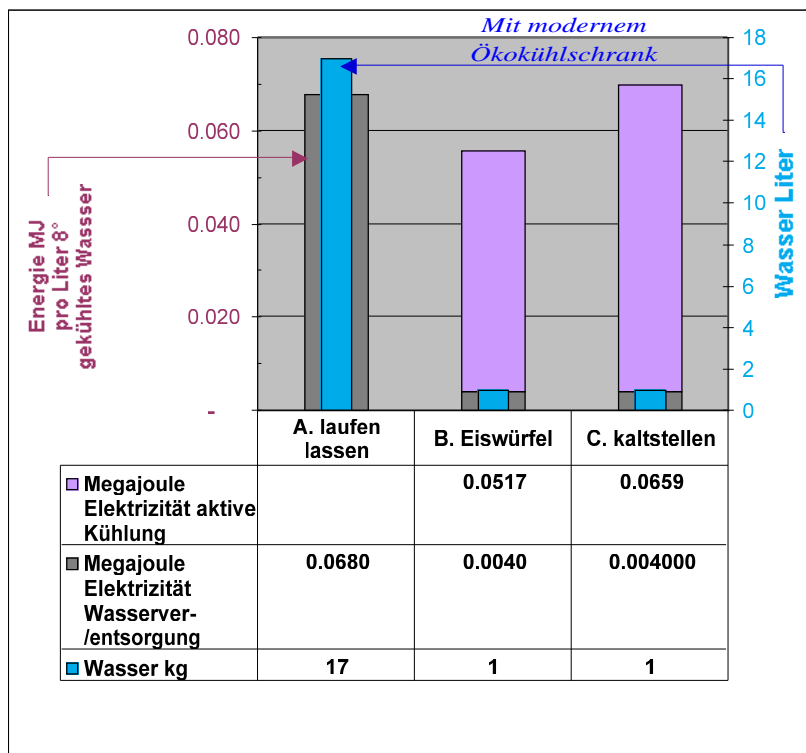
Variante A braucht rund halb so viel Elektrizität als Variante B und Variante C. Diese Energie ist ausschliesslich die Graue Energie in den verbrauchten 17 Liter Wasser (Wasseraufbereitung und Entsorgung). Bei den Varianten B und C stammt der Elektrizitätsbedarf fast ausschliesslich aus dem Energiebedarf des Kühlschranks.

Variante A braucht bedeutend mehr Wasser als Variante B und Variante C. Die Schonung von Wasserressourcen als solche (d.h. nicht die mit der Wassernutzung verbundenen Aufwendungen und Belastungen) ist in der Schweiz aber aufgrund der Alpen als Wasserschloss kein vorrangiges Umwelt-Problem. In anderen Ländern der Erde

kann dies aber anders aussehen und zu einem ausschlaggebenden Faktor bei der Beurteilung der vorliegenden Frage werden. Auch in Europa gibt es Länder, die mittelfristig Trinkwasserprobleme haben werden (z.B. Holland, Ungarn). Für die Schweiz sollte aber die Beanspruchung von Trinkwasserressourcen – im relativen Vergleich zu den Belastungen durch Stromkonsum – nicht wesentlich Gewicht erhalten (Der Stromkonsum für die Trinkwasseraufbereitung ist jedoch im Stromkonsum berücksichtigt).

Somit sollte sich der Vergleich – mindestens für Schweizer Verhältnisse – am Stromkonsum orientieren. Hier ergibt sich, dass Variante A (Wasser laufen lassen) die Beste ist. Varianten B und C sind rund doppelt so schlecht und – innerhalb der Aussagegenauigkeit der Bilanzierung – als etwa gleich belastend anzusehen.

Wichtig ist dabei der Wirkungsgrad des Kühlschranks. Oben wurden 19% (aktueller CH Durchschnitt). Moderne Kühlschränke können aber Wirkungsgrade von 50-60% aufweisen und so wesentlich besser abschneiden. Mit einem Ökokühlschrank mit Wirkungsgrad 58% (d.h. ca. 200 kWh/Jahr mit durchschnittlicher Füllung) gibt es keinen entscheidenden, signifikanten Unterschied mehr bzgl. Energieverbrauch der drei Varianten.



Bei Variante C 'Wasser kaltstellen' musste ein eher merkwürdiges Vorgehen gewählt werden, um auf Wasser von vergleichbarer Temperatur (8°) zu kommen (4° Kaltwasser wieder mit 15° Hahnenwasser erwärmen). In Realität dürfte das 4°ige Wasser direkt konsumiert werden, was dann auch wesentlich mehr Energie zum Kühlen benötigt als

8°iges Wasser. Dieses Verhalten ist dann aber - im Sinne der Ökobilanzierung - nicht mehr strikte vergleichbar mit den anderen beiden Varianten, da eine andere - bzw. bessere resp. 'kältere' – Dienstleistung erbracht wird. Aber dass in Realität bei Variante C eher noch mehr Energie verbraucht werden würde, macht diese Variante potentiell zur Schlechtesten.

Von gewisser Relevanz ist die Aufbewahrungsdauer vom gekühlten Wasser im Kühlschrank, da dies rund 10% des Energiekonsums im gerechneten Beispiel der Variante C ausmacht. Wird das Wasser länger als die oben angenommenen 24 Stunden gelagert, erhöht sich auch der Energiekonsum entsprechend. Bei der Variante B ('mit Eiswürfeln abkühlen') ist hingegen die benötigte Energie zum Kühlhalten während eines Tages gering und macht nur 1.1% des Gesamtstromverbrauchs dieser Variante aus. Bei 'alten' Eiswürfeln, welche lange - d.h. Wochen - gelagert werden, kann dieser Energieaufwand aber wichtig werden

### **Schlussfolgerung:**

Alle Resultate geben nur Grössenordnungen wieder. Die Resultate sind – wie in der Analyse oben dargelegt – mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, die durch die jeweiligen Umstände oder Verhaltensweisen bedingt sind. Man sollte sich also davor hüten aus kleinen relativen Unterschieden zwischen den Varianten bedeutsame Schlussfolgerungen zu ziehen.

Die Variante A 'Wasser laufen lassen ' hat bei den gewählten Randbedingungen deutliche **ökologische Vorteile bzgl. Energiekonsum**, wenn von einem üblichen Kühlschrank ausgegangen wird.

Wird jedoch ein **Ökokühlschrank** mit hohem Wirkungsgrad verwendet, unterscheiden sich die Varianten energetisch nicht mehr wesentlich. Ausschlaggebend wird dann die Aufbewahrungsdauer im Kühlschrank, resp. die vergeudete Menge Wasser in Variante A.

Variante A 'Wasser laufen lassen ' hat einen relativ hohen Wasserverbrauch, was sie **in Ländern mit knappen Wasserressourcen** (zu denen die Schweiz *nicht* gehört) tendenziell zur schlechtesten Variante macht. In der Variante C ' Wasser im Kühlschrank abkühlen' wird in Realität eher noch mehr Energie verbrauchen als oben - unter Vorgabe strikter Vergleichbarkeit - berechnet und ist somit potentiell die schlechtere Variante als Variante B. Variante B ist somit die bessere Variante als A und C, wenn Wasserressourcen knapp sind.

### **Handlungsempfehlung:**

**In der Schweiz kann Variante A 'Wasser laufen lassen ' empfohlen werden**, falls nicht wesentlich mehr als 17 Liter Hahnenwasser pro Liter konsumiertes, kaltes Wasser

benötigt werden (entspricht - je nach Installationen - ca. 2 Minuten Wasser laufen lassen). Ist ein Ökokühlschrank vorhanden, gibt es bezüglich Energieverbrauch keine wesentlichen Unterschiede zwischen den drei Varianten - im Rahmen der Unsicherheiten der Randbedingungen.

**In Ländern mit knappen Trinkwasserreserven oder hohem Aufbereitungsaufwand für Trinkwasser sollte die Variante B ' Wasser mit Eiswürfeln kühlen' gewählt werden.**

Anfragen zu dieser Analyse an:

Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

doka@unite.ch

Zürich, Juli 2001