

# ENERGIE

Magazin über Energie, Mobilität und Umwelt

# VISION



## CO<sub>2</sub> – Segen und Fluch

**Klimawandel**

Ausgabe 1+2/2020, Verlagspostamt A-1130 Wien, Einzelpreis EUR 3,00



9 190001 016542 >



Sehr geehrte Leserinnen,  
sehr geehrte Leser!

Klimawandel, Klimaschutz, Klimakatastrophe sind heute feste Begriffe in der täglichen Kommunikation geworden. Ergänzt durch das CO<sub>2</sub> als vermeintliches Klimakillergas. Dabei wird vergessen, dass es ohne CO<sub>2</sub> kein Leben auf der Erde gäbe. Es ist jedoch nicht das CO<sub>2</sub> an sich, sondern das zu viel, was in die Atmosphäre gestoßen wird. Das gilt übrigens auch für die Sonne als Quelle allen Lebens. Auch da ist ein zu viel schädlich und bringt mehr Schaden als Nutzen. Nach Gesprächen mit ausgewiesenen Astrophysikern, Meteorologen und Klimaforschern will ich versuchen, das Klimathema sachlich abzuhandeln und vor allem dem CO<sub>2</sub> wieder den Stellenwert zurückzugeben, den es im Naturhaushalt verdient.

Mit freundlichen Grüßen,

Kurt Belyus  
Herausgeber

# Editorial



Lebensenergie 8



Atmosphäre 12



Klimawandel 14



Energiewende 16



Wasserstoff 18



Literature Review 23



Entgeltliche Einschaltung

Foto: Wiener Wasser/Zinner

## Wiener Wasser macht Schule.

Das Projekt „Wassertrinken in Schulen“ macht Wiener Kindern und Jugendlichen seit mehr als zwei Jahren Lust aufs Wassertrinken. Nicht zuletzt aufgrund der hervorragenden Wiener Trinkwasserqualität sind bereits 50.000 Schülerinnen und Schüler mit dabei. Untersuchungen zeigen, dass Schülerinnen und Schüler in der Schule oft zu wenig oder zu süß trinken. Das kann nicht nur zu Müdigkeit und Konzentrationsschwäche, sondern sogar zu Übergewicht und Adipositas führen. QR-Code scannen und mehr erfahren!



Verlegt wird das unabhängige Magazin im Energie Vision Verlag, 1140 Wien, Rosentalgasse 13a/10, Fax +43(0)1 877 14 35, Mobil +43 664 8373258, E-mail: office@energievision.com, Homepage: www.energievision.com. Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich: Kurt Belyus, Grafik und Layout: Marion Bräuer. Die Richtung des unabhängigen Magazins ist die Information über Fakten und Trends betreffend die Themenbereiche Energie, Mobilität und Umwelt. Titelbild © Montage, smileus/Fotolia

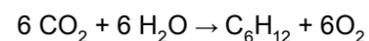
A lush green forest scene with sunlight filtering through tall trees and lush green undergrowth. The sun is positioned in the upper left, creating a bright starburst effect and casting long, soft shadows. The trees are tall and slender, with dense foliage. The foreground is filled with various green plants and leaves, some in sharp focus and others blurred. The overall atmosphere is bright and serene.

**Habt Ehrfurcht vor der Pflanze,  
alles lebt durch sie!**

## Assimilation und Atmung

Kein anderes Atmosphären gas erfährt in der Öffentlichkeit derart große Aufmerksamkeit wie das Kohlenstoffdioxid, denn eine weitere durch Menschen verursachte Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre könnte in naher Zukunft in einer Klimakatastrophe enden. Die Gefahr wird für so groß angesehen, dass man erwägt, Kohlenstoffdioxid zu sequestrieren. Dies heißt, das zu viel produzierte Kohlenstoffdioxid wird dauerhaft in unterirdische Lagerstätten eingelagert.

Das atmosphärische Kohlenstoffdioxid ist jedoch die Quelle, aus der die grünen Pflanzen den für den Aufbau ihrer Körpersubstanz benötigten Kohlenstoff beziehen. Da alle tierischen Lebewesen einschließlich der Menschen letzten Endes von den Pflanzen leben, ist dieses Spurengas als Grundstoff jeglichen organischen Lebens auf der Erde zu sehen. Der Assimilationsprozess, zusammengefasst in der Photosynthesegleichung



benötigt auch Sonnenstrahlung als Energiequelle und kann deshalb nur tagsüber ablaufen. Gleichzeitig setzen die Pflanzen jedoch – genauso wie auch die tierischen Lebewesen – ständig durch Veratmung Kohlenstoffdioxid frei. Man nennt diesen Vorgang Respiration. Betrachtet man nun beide Vorgänge zusammen, so ergibt das folgende Gesamtbild: Am Tag entnehmen

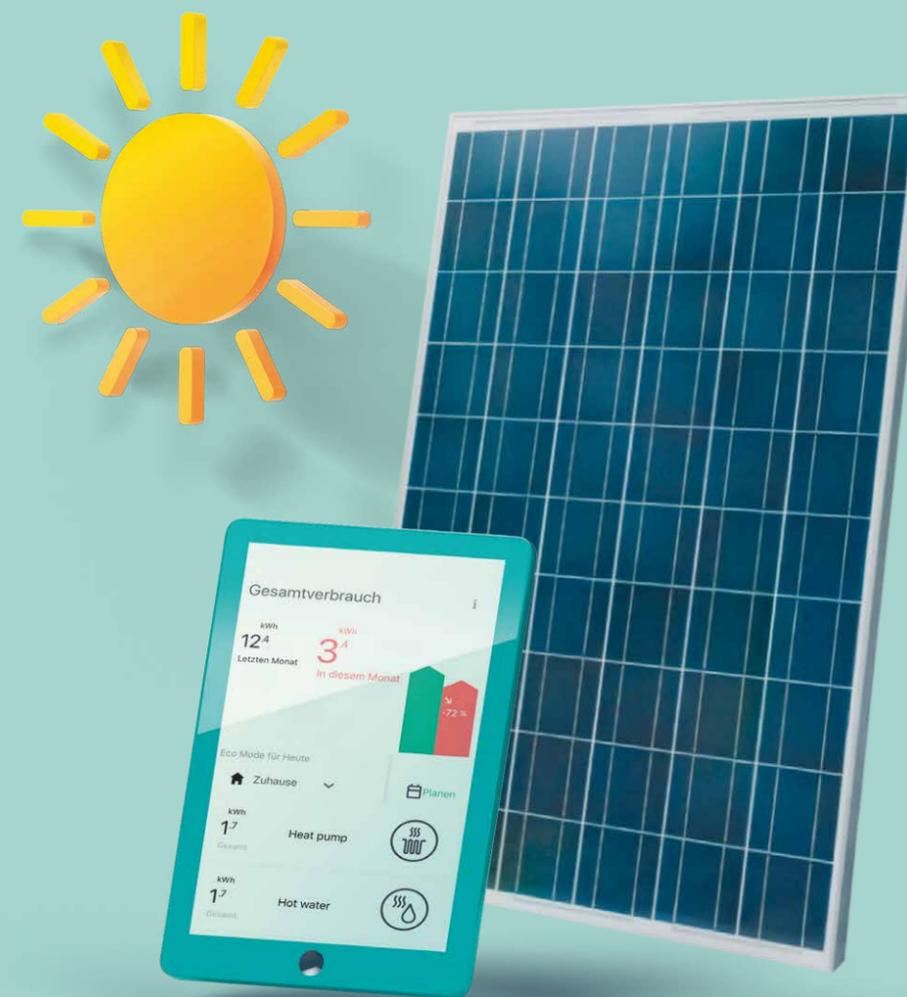
die Pflanzen durch Assimilation aus der Luft mehr Kohlendioxid, als sie durch Respiration zurückgeben. In der Nacht, wenn keine Assimilation stattfindet, wird die Luft wieder mit Kohlendioxid angereichert. Als Folge davon findet man insbesondere in ländlichen Gegenden in Bodennähe einen ausgeprägten Tagesverlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration mit einem Maximum in der Nacht und einem Minimum am Tag.

Doch selbst die Sonne alleine reicht noch nicht. Es bedarf noch eines „Katalysators“. Das ist der grüne Farbstoff Chlorophyll, das die Blattfarbe bestimmende Blattgrün. Dieses antennenartig gebaute Chlorophyll-Molekül fängt die Energie des Sonnenlichtes ein, um es in feinen Abstufungen auf jenen chemischen Grundprozess zu übertragen, der aus 6 Molekülen Kohlenstoffdioxid und 6 Molekülen Wasser eine organische Verbindung aufbaut und dabei 6 Moleküle Sauerstoff abgibt.

Bei dem Jahresgang der CO<sub>2</sub>-Konzentration zeigt es auf der Nordhalbkugel ein Maximum in den Monaten März bis April nach der Winterruhe und ein Minimum zum Ende der Vegetationszeit im Oktober oder November. Mit Beginn der Heizperiode kommt es darüber hinaus zu einer verstärkten anthropogenen Kohlendioxidfreisetzung. Und da Jahr für Jahr mehr fossile Energieträger verbrannt werden, kommt es einer ständig wachsenden CO<sub>2</sub>-Belastung der Atmosphäre. □

# joulie

Photovoltaik, einfach  
schlau gemacht.



**NUTZEN AUCH SIE  
DIE KRAFT DER SONNE!**

Mit joulie, dem intelligenten und individuell erweiterbaren Photovoltaik-System der EVN.

joulie.at

Die primäre Energiequelle für das Klimasystem ist die Sonne mit ihren rund 140 Millionen Kilometern Durchmesser. Sie ist die natürliche und wichtigste Energiequelle der Erde und hat über geologische Zeiträume die Klimaentwicklung der Erde geprägt. Daraus folgt aber nicht, dass die Sonne alle Klimaveränderungen verursacht.

# Lebensenergie

Die auf die Erde zugestrahlte Sonnenenergie ist ungeheuer groß. Letztlich ist alle Energie auf der Erde umgewandelte Sonnenenergie. In Erdentfernung trifft in jeder Sekunde eine Energie von 1,36 kJ senkrecht auf einen Quadratmeter. Das heißt, dass der jährliche Weltenergieverbrauch nur etwa 3 Prozent der täglichen Sonneneinstrahlung beträgt. Der Hauptteil der von Kernfusionen der Sonne stammenden Strahlung kommt von der etwa 350 Kilometer dicken Fotosphäre, einer Art Sonnenatmosphäre, die in drei Wellenlängenbereichen eingeteilt ist. Es ist das bis 0,38 Mikrometer reichende Ultraviolett, das rund 7 Prozent der Sonnenenergie transportiert, dann den sichtbaren Bereich von 0,78 Mikrometer, der 46 Prozent umfasst, und schließlich das Infrarot von Wellenlängen über 0,78 Mikrometer mit einem Energieanteil von 47 Prozent.

## Von der Sonne zur Erde

Wie gelangt nun diese gigantische Sonnenenergie zur Erde? Es ist die Strahlung, die den Physikern lange Zeit schwere Rätsel aufgab. Heute weiß man, dass die Strahlung ein Phänomen ist, das sich unserem beschränkten Vorstellungsvermögen entzieht. Es offenbart sich je nach Situation als Welle oder als Folge von hintereinander herfliegenden Quanten. Die Strahlung ist somit ein physikalischer Vorgang, bei dem Energie ohne materiellen Träger transportiert wird. Sie hat damit die Fähigkeit, Energie durch den „luftleeren“ Weltraum,

von der Sonne zur Erde zu übertragen. Ohne diese Strahlung der Sonne wäre die Erde ein kalter Brocken Materie.

## Elektromagnetische Wellen

Welche Strahlungsarten gibt es überhaupt in der Atmosphäre und wodurch unterscheiden sie sich? Das primäre Unterscheidungskriterium ist die Wellenlänge. Sie bestimmt nicht nur die physikalischen Eigenschaften, nach ihr werden auch die Bezeichnungen für die Strahlungsarten des unvorstellbar

großen Strahlenspektrums und die Bereichsgrenzen festgelegt. Es umfasst nicht weniger als 21 Zehnerpotenzen.

Die kürzeste Wellenlänge besitzt die kosmische Höhenstrahlung mit  $10^{-15}$  Meter. Es ist die Größenordnung von Elektronen und Atomkernen. Ihr folgt die Gamma-Strahlung mit einer Wellenlänge von  $10^{-12}$  Meter. Sie ist teilweise noch kleiner als ein Atom, gefolgt von Röntgenstrahlen mit Dimensionen von  $10^{-7}$  Meter, das entspricht Molekülen und kleinen Aerosolen. Sie geht

in die Ultraviolette Strahlung über, der sich das sichtbare Licht anschließt. Die infrarote und „langwellige“ Strahlung, mit einer Wellenlänge von etwa  $10^{-6}$  Meter, das entspricht der Größenordnung von Nebel-, Wolken- und Regentropfen leitet dann in den Bereich der technisch genutzten Wellenlängen über, das sind Radar, Mikrowelle und Telekommunikation.

## Welle und Energieinhalt

Wie hoch ist nun der Energieinhalt einer Wellenlänge? Zwischen der Wellenlänge und dem

*Die Sonne verursacht nicht alle Klimaveränderungen. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Veränderung der Sonnenhelligkeit. Sie beträgt seit der Zeit vor 4 Milliarden Jahren etwa 25 Prozent. Dagegen sind sowohl die von Satelliten gemessenen Schwankungen über den 11-jährigen Sonnenzyklus als auch die mit Hilfe bestimmter Isotope rekonstruierte Veränderung der Sonnenhelligkeit mit etwa 0,1 Prozent sehr klein.*



Energieinhalt der Strahlung besteht ein einfacher Zusammenhang. Je kürzer die Wellenlänge desto energiereicher die Strahlung. Das heißt, mit jeder Verkürzung der Wellenlänge auf ein Zehntel steigt der Energieinhalt auf das 10-fache. So erhält die UV-Strahlung mit einer Wellenlänge von 0,1 Mikrometer 10-mal mehr Energie als die Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge von 1 Mikrometer.

#### Strahlungsstrom aus dem Weltall

Der außerhalb der Erdatmosphäre gemessene Strahlungsstrom von der Sonne ist die *extraterrestrische, kurzwellige Strahlung* oder *Solarkonstante*. Das Wort Konstante deutet auf eine hohe Konstanz dieser Strahlung hin, die im Mittel mehrerer Jahre um weniger als ein Promille variiert. Ein langjähriger Trend ist aber nicht erkennbar. Kurzfristige Schwankungen von mehreren Tagen bis Wochen und Amplituden von drei Prozent treten dagegen regelmäßig auf. Größere Schwankungen hätten wahrscheinlich verhängnisvolle Konsequenzen. So würde eine Zunahme der Strahlungsleistung von nur einem Prozent zu einem weltweiten Temperaturanstieg von 2°C führen.

Was geschieht nun mit der von der Sonne kommenden Strahlung, wenn sie in die Gashölle der Erde eindringt und auf die darin befindlichen Luftteilchen, Verunreinigungen und Wassertropfchen trifft? Sie durchdringt die Atmosphäre unbehelligt. Ein Beispiel ist die direkte Sonnenstrahlung. Es ist diejenige Strahlung, die es uns ermöglicht, die Sonne am Himmel zu sehen und die Schatten wirft. Natürlich kann die Erdoberfläche die direkte Sonnenstrahlung nicht restlos absorbieren. Nach neueren

Satellitenmessungen werden rund 30 Prozent der kurzwelligen Sonnenstrahlung von der Atmosphäre und der Erdoberfläche, entsprechend der Albedo – dem Reflexionsvermögen – unmittelbar in den Weltraum reflektiert. 20 Prozent werden von der Atmosphäre und 50 Prozent von der Erdoberfläche absorbiert und in Wärme umgewandelt.

#### Langwellige Strahlung

Als Quellen für die *langwellige Strahlung* kommen der Erdboden mit allem, was darauf steht und die Atmosphäre mit ihren Inhaltsstoffen in Frage. Die vom Erdboden ausgehende Strahlung wird üblicherweise *langwellige Ausstrahlung* genannt. Die von der Atmosphäre zur Erdoberfläche gerichtete heißt *atmosphärische Gegenstrahlung*. Während vom Erdboden ein Kontinuum ausgesendet wird, geben die atmosphärischen Gase ein diskontinuierliches Bandenspektrum ab. Nur die Wassertropfchen der Wolken und die festen Verunreinigungen emittieren kontinuierlich.

#### Atmosphärisches Fenster

Im Zusammenhang mit der atmosphärischen Gegenstrahlung gibt es noch eine vor allem für den Klimawandel erwähnenswerte Tatsache. Nach einem von dem deutschen Physiker *Gustav Kirchhoff* (1824–1887) aufgestellten Gesetz kann man vereinfacht sagen, dass Atmosphärgase, das sind auch Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf, genau diejenigen Wellenlängen absorbieren, die sie auch selbst emittieren und umgekehrt. Auf die Atmosphärgase angewendet bedeutet dies, dass in der Emissionslücke von etwa 10,5 bis 12,5 Mikrometer keine Absorption stattfinden kann. Das hat zur Folge, dass die Ausstrahlung der Erdoberfläche in diesem Wellenlängenbereich

die Atmosphäre ungehindert passieren kann. Man spricht deshalb gerne vom „atmosphärischen Fenster“.

#### Stefan-Boltzmann-Gesetz

Aus der Existenz dieses atmosphärischen Fensters sind in den letzten Jahren ungeahnte Möglichkeiten erwachsen. Man braucht dazu nur wie bei dem Wettersatellitensystem METEOSAT die Ausstrahlung im Wellenlängenbereich 10,5 bis 12,5 Mikrometer zu messen und mit Hilfe des *Stefan-Boltzmannschen Gesetzes* in die Strahlungstemperatur umzurechnen. Dadurch lässt sich nicht nur ein sehr präzises Bild über die Temperaturverteilung an der Erdoberfläche gewinnen, auch die Höhe der Wolken kann man aus der Temperatur ihrer Oberfläche gut bestimmen. Dadurch ergibt sich auch eine Fülle von wertvollen Hilfen für die Analyse der Wettersituation. □

*Quellen: Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung, W. Kuttner/Witterung und Klima, H. Malberg/Meteorologie und Klimatologie, M. Kuhn/Klimaänderungen, K. Kasang Cubasch/Anthropogener Klimawandel, P. Fabian/Leben im Treibhaus, Hans Häckel/Meteorologie.*

## Wissen

*Das Stefan-Boltzmann-Gesetz ist ein physikalisches Gesetz, das die thermisch abgestrahlte Leistung eines idealen Schwarzen Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur angibt. Es ist benannt nach den Physikern Josef Stefan und Ludwig Boltzmann.*

# WILLKOMMEN im Tiergarten Schönbrunn!



Besuchen Sie unsere Eisbärenwelt.  
**TÄGLICH AB 9 UHR**



Like us on facebook  
[www.facebook.com/zoovienna](http://www.facebook.com/zoovienna)



TIERGARTEN  
SCHÖNBRUNN

Tiere sehen. Arten schützen.

[www.zoovienna.at](http://www.zoovienna.at)

# Ökologische Bedeutung der Atmosphäre

Wenn wir die Himmelskörper in unserem Sonnensystem betrachten, fällt auf, dass die Atmosphären keineswegs eine Selbstverständlichkeit sind. Unser nächster Nachbar im Raum, der Mond, hat zum Beispiel keine Atmosphäre. Damit drängt sich die Frage auf, woher es kommt, dass die Erde von Luft umgeben ist, der Mond dagegen nicht. Die Physik gibt uns die Antwort, denn die Teilchen eines Gases bewegen sich im Mittel umso schneller, je höher die Temperatur ist. Diese Theorie besagt weiter, dass bei gleichen Temperaturen die schweren Teilchen langsamer und die leichten schneller fliegen.

Da sich zu jedem Zeitpunkt Gasmoleküle in der Atmosphäre von der Oberfläche des Himmelskörpers weg nach oben bewegen, hängt es von deren Geschwindigkeit ab, ob sie ausreicht, seiner Anziehungskraft zu entweichen. Im realen Fall ist ein solcher Vorgang natürlich komplizierter als hier dargestellt, jedoch das Ergebnis das gleiche. Konkret heißt dies, dass um einen Himmelskörper eine dauerhafte Atmosphäre nur dann existieren kann, wenn

er in der Lage ist, mit seiner Schwerkraft die Gasmoleküle genügend fest an sich zu ziehen. Die erste Voraussetzung ist eine ausreichende Größe des Himmelskörpers. Die zweite, dass die Temperatur nicht zu hoch ist und drittens muss das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Gase berücksichtigt werden.

Wenn wir die Himmelskörper unseres Planetensystems unter diesen drei Gesichtspunkten vergleichen, so ist zum Beispiel der Mond kleiner als die Erde, gleichzeitig erhitzt er sich auf der sonnenbeschienenen Seite bis über 130°C und hat deshalb keine Möglichkeit, Atmosphärgase an sich zu binden. Die Erde kann dagegen die schwereren Gase bereits an sich binden, die leichten aber entfliehen auch ihrer Schwerkraft. Erst die großen Planeten wie Jupiter und Saturn vermögen auch leichte Gase wie Wasserstoff und Helium in größeren Mengen in ihrer Atmosphäre zu halten.

## Geschichte der Erdatmosphäre

Es wäre ein Irrtum zu glauben, die Erdatmosphäre sei irgendwann einmal entstanden und dann bis heute unverändert geblieben. Sie hat vielmehr eine bewegte Geschichte hinter sich, in der sich ihre chemische Zusammensetzung im Laufe der Jahr-millionen mehrfach geändert hat. Setzte sich die so genannten *Ur-Atmosphäre* wahrscheinlich noch überwiegend aus Wasserstoff, Helium, Kohlendioxid, Stickstoff und Sauerstoff zusammen, liefern der Wissenschaft heute noch tätige Vulkane den Anhaltspunkte einer *zweiten Erdatmosphäre* mit hohen Konzentrationen vor allem an Wasserdampf, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff und weiters Spurengase wie Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und in Spuren Methan und Ammoniak. Von den meisten dieser Gase enthält die Atmosphäre heute nur noch winzige Spuren.

Aber wohin sind sie entschwinden? Der leichte Wasserstoff konnte der irdischen Gravitation entkommen und in das Weltall hinausdiffundieren. Mit fortschreitender Abkühlung begann Wasserdampf zu kondensieren und bildete die Weltmeere, in denen sich gewaltige Mengen Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff lösten. Bei Reaktionen mit anderen Inhaltsstoffen des Meerwassers sind aus ihnen Feststoffe geworden, die sich als Sediment auf dem Meeresboden abgelagert haben. Auf diese Weise erreichte das Wasser nie volle Sättigung, so dass ein ständiger Transport von der Atmosphäre über die Ozeane zu den Sedimenten aufrechterhalten blieb, der der Atmosphäre riesige Gasmengen entziehen konnte. Die *dritte Erdatmosphäre* schließlich enthielt im Wesentlichen Stickstoff, Kohlendioxid und Wasserdampf.

## Photosynthese die Basis für unser heutiges Leben

In der Entwicklungsgeschichte der Erdatmosphäre fehlt jedoch noch der Sauerstoff. Wie und wann kam er in die Atmosphäre? Man könnte etwa an die Aufspaltung von Kohlendioxid und Wasserdampf durch energiereiche UV-Strahlung denken, also durch Photodissoziation. Diese Vorgänge wären aber nicht in der Lage gewesen, auch nur einen Bruchteil des in der Atmosphäre vorhandenen Sauerstoffs freizusetzen. Wir wissen heute, dass praktisch der gesamte Sauerstoff aus der Photosynthese stammt, also von lebenden Organismen produziert wurde. Damit soll verdeutlicht werden, zu welchen ungeheuren Leistungen die Vegetation fähig ist.

## Zusammensetzung der heutigen Erdatmosphäre

Heute haben drei Atmosphärgase eine wirtschaftliche und ökologische Bedeutung. Das sind Stickstoff, Sauerstoff und Argon. In Summe mit einem Volumenanteil

von 99,97 Prozent. Dazu kommen in geringen Konzentrationen verschiedene Spurengase wie Kohlendioxid, Neon, Helium, Methan, Wasserstoff und Wasserdampf.

## Atmosphärische Spurengase

Die Bezeichnung Spurengase macht schon deutlich, dass die Luft nur winzige Mengen dieser Gase enthält. Würde die Konzentration in Volumenprozent angegeben werden, bekäme man sehr unhandliche Zahlen. Man benützt daher die Einheit „ppm“ – parts per million. Das bedeutet auf je 1 Million Luftteilchen trifft 1 Teil Spurengas. Trotz scheinbar vernachlässigbarer Mengen haben die atmosphärischen Spurengase in der modernen Meteorologie große Bedeutung erlangt. Zu ihnen zählen nämlich insbesondere diejenigen, die den atmosphärischen Treibhauseffekt hervorrufen. Es ist dies im Wesentlichen Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid. Ohne diese Spurengase würde die terrestrische Gegenstrahlung von der Erde ungehindert in den Weltraum entweichen. Damit läge die mittlere Temperatur der Erdoberfläche rechnerisch bei  $-18^{\circ}\text{C}$ , während sie Schätzungen zufolge rund  $15^{\circ}\text{C}$  beträgt. □

# Klimawandel

**Wir verbrauchen so viel Energie als hätten wir zwei Erden. Wir haben aber nur einen Planeten**

Das Klimasystem ist hoch komplex, mit einer Fülle von chemischen und physikalischen Wechselwirkungen in der Atmosphäre. Diese besteht zu 99,95 Gewichtsprozent aus Stickstoff, Sauerstoff und Argon. Dazu kommen in geringen Konzentrationen Spurengase wie Ozon, Methan, Kohlendioxid und Wasserdampf. Ohne sie gäbe es nur eine mittlere Temperatur der Erdoberfläche von  $-18^{\circ}\text{C}$ . Die Erde wäre dann ein vielleicht vollständig vereister Planet. Tatsächlich beträgt aber die mittlere Temperatur etwa  $15^{\circ}\text{C}$ . Woher dann die stattliche Differenz von 33 Grad? Sie ist die Folge des atmosphärischen Glashauses.

## Vom Glashaus zur Atmosphäre

Strahlungsverhältnissen ganz besonderer Art begegnen wir in den Gewächshäusern der Gärtnereien, in die kurzweilige Sonnenstrahlen praktisch unbeeinflusst in das Innere des Hauses vordringen. Boden, Tische und Pflanzen absorbieren einen großen Teil davon und erwärmen sich dadurch. Die Folge ist, dass sie nun langwellige Strahlen aussenden. Diesem Wellenlängenbereich gegenüber verhält sich das Glas jedoch völlig anders. Alle Wellenlängen größer als 3 Mikrometer werden nämlich fast restlos absorbiert, das Glas erwärmt sich und gibt verstärkt langwellige Strahlen nach innen und nach außen ab. Dadurch ist ein Teil der in

Form von kurzweiliger Strahlung zugeführter Energie im Glashaus gefangen und es steigt die Temperatur im Inneren des Hauses über die Freilandtemperatur, was als Glashauserffekt bezeichnet wird. Völlig ident ist der Vorgang in der Atmosphäre, wo Spurengase und Wasserdampf ein ähnliches Verhalten zeigen wie das Glas im Gewächshaus, das die langwelligen Strahlen absorbiert.

## Große Wirkung kleiner Gase

Nun stellt sich die Frage, warum es gerade die Spurengase mit den geringsten Konzentrationen – fast ausschließlich im PPM-Bereich – sind, die den atmosphärischen Glashauserffekt verursachen und nicht die Hauptbestandteile Stickstoff und Sauerstoff. Der Grund ist, dass die langwellige atmosphärische Gegenstrahlung in erster Linie aus den Rotations- und Schwingungsanregungen der dreiatomigen Moleküle stammt. In diese Molekülgruppe gehören praktisch die genannten Spurengase. So ergibt sich ganz zwangsläufig, dass sie den atmosphärischen Glashauserffekt auslösen und seine Stärke bestimmen. Somit würde ein ständig zunehmender  $\text{CO}_2$ -Gehalt eine weiter und weiter wachsende Gegenstrahlung bewirken. Das Gleiche passiert, wenn die Konzentrationen von  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  und dem troposphärischen Ozon ansteigen. Welche Folgen ein zu hoher Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre bedeutet, zeigt



unser Nachbarplanet Venus. Diese hohe Konzentration von 95% Kohlendioxid ruft einen so enormen Glashauserffekt hervor, dass die Oberflächentemperaturen auf Werte über  $450^{\circ}\text{C}$  steigen.

## Mensch und Klima

Der Klimawandel ist keine Frage des Glaubens. Er ist eine Tatsache. Ebenso die Ursache. Sie liegt im anthropogenen Ausstoß von Kohlendioxid-Emissionen in die Atmosphäre. Bei dem Zusammenhang zwischen Kohlendioxid

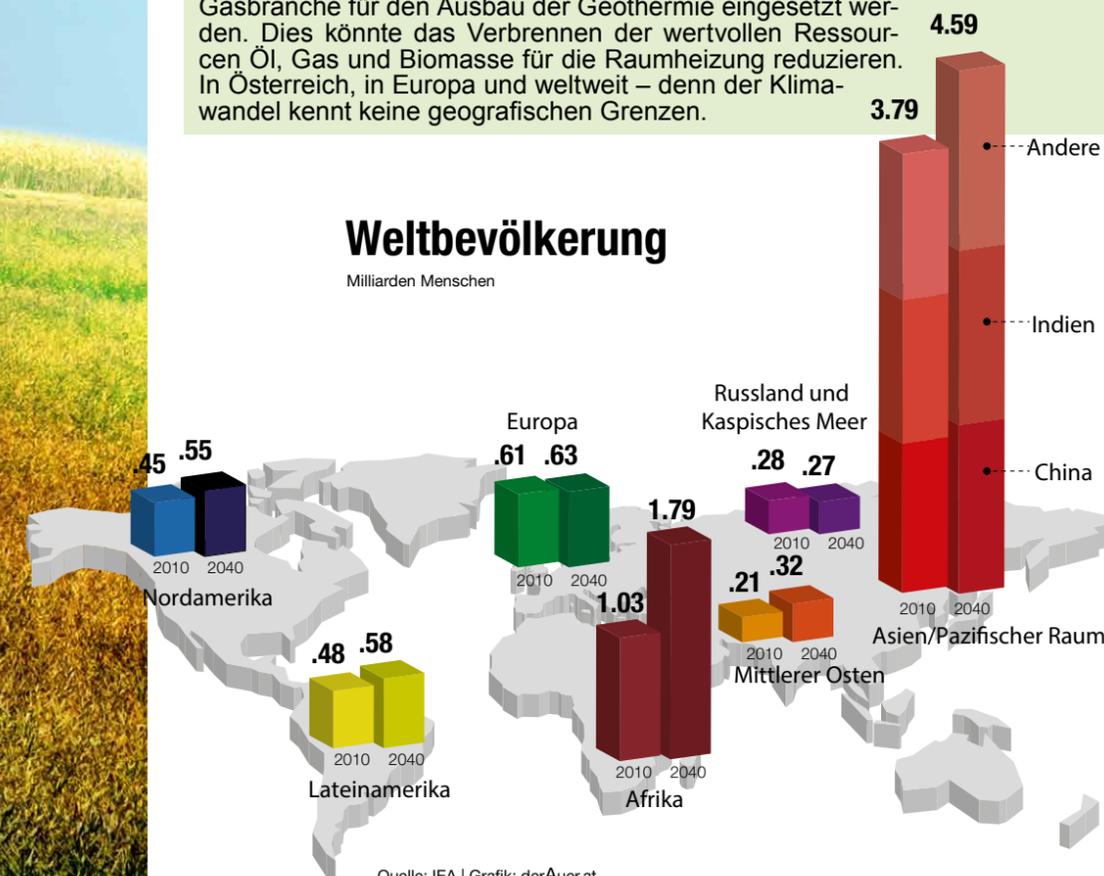
und Temperatur handelt es sich aber nicht bloß um eine Korrelation. Man weiß genau, wie viel Kohle, Öl und Gas Jahr für Jahr weltweit verbrannt werden. Weiterhin können wir den daraus resultierenden jährlichen Kohlendioxid-Anstieg in der Atmosphäre direkt messen und die Werte anpassen. Eigentlich müsste das Kohlendioxid in der Atmosphäre sogar doppelt so schnell ansteigen, aber die Ozeane und die Landvegetation nehmen rund die Hälfte unserer Emissionen auf. □

## Klimawandel – was tun?

Die Antwort ist ebenso komplex wie das Klima selbst. Dies schon aufgrund der Wechselbeziehung zwischen Umwelt und Wirtschaft. Schließlich zählen die maßgeblich für die Kohlendioxidemissionen verantwortlichen Unternehmen zur Öl-, Gas-, Kohle- und Autobranche. Und die sind Eckpfeiler der Weltwirtschaft. Aber es gibt doch eine Fülle von klimaschonenden Maßnahmen. Ausgewiesene Experten im Automobilbau meinen, dass es beim Kraftstoffverbrauch noch ein deutliches Reduzierungspotential gibt. Weitere Ansatzpunkte sind umweltfreundlichere Energieträger in der Mobilität wie Strom, Wasserstoff und Flugbenzin mit biogenen Komponenten, sowie die verstärkte Nutzung regenerativer Energiequellen wie Sonne, Wind und Wasser. Und im Bereich der Raumwärme sollten die Expertisen der Öl- und Gasbranche für den Ausbau der Geothermie eingesetzt werden. Dies könnte das Verbrennen der wertvollen Ressourcen Öl, Gas und Biomasse für die Raumheizung reduzieren. In Österreich, in Europa und weltweit – denn der Klimawandel kennt keine geografischen Grenzen.

## Weltbevölkerung

Milliarden Menschen



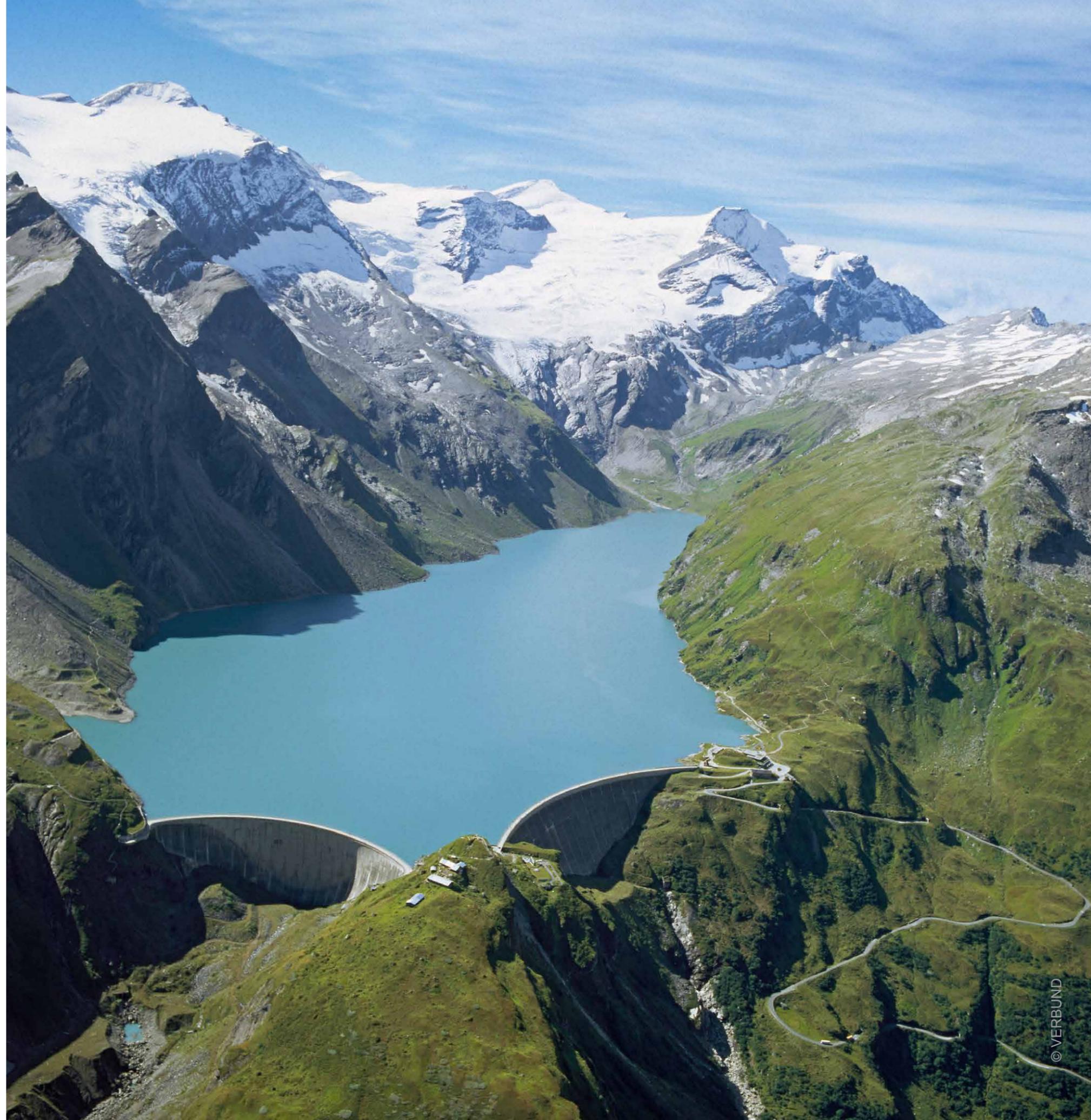
## Energiewende braucht Speicher

Mit dem Begriff der Energiewende hat Deutschland den Ausstieg der Stromerzeugung durch Atomkraftwerke eingeleitet. Nunmehr gilt die Energiewende auch für den Umstieg von fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas auf Erneuerbare. Das gestaltet sich kompliziert. Warum? Die Strom-Energiewende wird nun durch die Verkehrs- und Raumwärmewände ergänzt. Das ist eine sehr große Herausforderung. Nicht nur für Österreich und Europa, sondern für die ganze Welt, denn der Klimawandel kennt keine geografischen Grenzen.

### *Intelligenteste Energieform*

Der elektrische Strom ist der intelligenteste und wertvollste Sekundärenergieträger, kann jedoch nicht so wie Erdöl gespeichert werden. Es bedarf modernster Speichertechnologien, um den Strom zeitgleich zu erzeugen, wenn er gebraucht wird. Das geschieht heute im großen Maßstab auch durch Pumpspeicher, wo Strom in Form von Wasser gespeichert wird. Die Basisausstattung hierfür ist ein Stausee oder ein Speicherbecken. Von dort schießt das aufgestaute Wasser über Druckrohrleitungen in das tiefer liegende Krafthaus, wo ein Generator die Drehbewegung der Turbine in elektrischen Strom umwandelt. □

*In Österreich ist der VERBUND-Konzern das führende Stromunternehmen und einer der größten Stromerzeuger aus Wasserkraft in Europa.*



# Heißt die Lösung Wasserstoff?

Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern. *Jules Verne*

Seit vielen Jahren, nein seit Jahrzehnten wird Wasserstoff als die Energie der Zukunft gepriesen. Das hat auch der französische Schriftsteller Jules Verne erkannt und in seinen visionären Romanen niedergeschrieben. Wenn es um die Mobilität der Zukunft geht, steht Wasserstoff immer an erster Stelle der Agenda. Besonders öffentlichkeitswirksam ist derzeit der grüne Wasserstoff. Dem wird das Prädikat verliehen, besonders umweltfreundlich zu sein. Aber, Wasserstoff ist immer umweltfreundlich. Egal, welche Farbe man ihn andichtet.

## Wasserstoff im Universum

Wasserstoff ist das häufigste chemische Element im Universum, jedoch nicht in der Erdkruste. Er ist Bestandteil des Wassers und beinahe aller organischen Verbindungen, aus der er erst gelöst werden muss. Wasserstoff ist das chemische Element mit der geringsten Atommasse. Sein häufigstes Isotop enthält kein Neutron, sondern besteht aus nur einem Proton und einem Elektron. Unter Bedingungen, die normalerweise auf der Erde herrschen kommt nicht dieser atomare Wasserstoff H vor, sondern der molekulare Wasserstoff H<sub>2</sub>.

## Wasserstoff und Umwelt

Seinen besonderen Stellenwert als Energie der Zukunft hat Wasserstoff deshalb, da er nicht nur aus Wasser gewonnen wird, sondern bei der Verbrennung wieder zu Wasserdampf

oxidiert. Wasserstoff weist auch die höchste Affinität zur „edlesten“ Energieform – zur Elektrizität – auf. Einmal durch die Möglichkeit, Wasserstoff mit Elektrolyse herzustellen, und andererseits in „umgekehrter Elektrolyse“, aus Wasserstoff und Sauerstoff wieder direkt Strom zu erzeugen. Der Ausgangsstoff Wasser entsteht wieder bei der Endenergienutzung. Das ist ein Musterbeispiel für Kreislaufwirtschaft. Zumindest theoretisch kann Wasserstoff so mittels regenerativer Energie unbegrenzt produziert werden.

## Wird Wasserstoff doch grün?

Nein, Wasserstoff ist ein farb- und geruchsloses Gas. Das Grün hat nur Marketing-Charakter und leitet sich aus der Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse ab. Bei der Elektrolyse wird Wasser, also H<sub>2</sub>O, mit Hilfe von elektrischem Strom in seine Bausteine Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Und wenn der Strom aus erneuerbaren Ressourcen wie Wind oder

Sonne kommt, wird dieser Wasserstoff als grün bezeichnet.

## Industrielle Wasserstoff-Produktion

In industriellem Maßstab wird Wasserstoff durch Dampfreformierung von Erdgas gewonnen. Die maßgeblichen globalen Unternehmen sind die Gaskonzerne Linde und Air Liquide. Dampfreformierung ist ein chemisches Verfahren, bei dem Erdgas (CH<sub>4</sub>) mit Wasserdampf reagiert. Der Sauerstoffgehalt des Wasserdampfs führt zu einer teilweisen Oxidation von Erdgas und es entsteht gemäß der Reaktionsgleichung wieder Wasserstoff. □

*Das Hamburger Verkehrsunternehmen HOCHBAHN setzt derzeit 35 Solobatteriebusse und zwei Gelenkbatteriebusse mit Brennstoffzellen als Range Extender ein. Der Wasserstoff stammt derzeit noch aus industrieller Produktion. Perspektivisch wird es „grüner“ Wasserstoff aus Windkraftwerken sein.*



## Greening the City

Um 1650 gab es etwa eine halbe Milliarde Menschen auf der Welt, 1970 betrug die Weltbevölkerung 3,6 Milliarden. Heute leben auf der Erde 7 Milliarden Menschen. Um 2040 wird es auf unserem Planeten 9 Milliarden Erdenbürger geben. Die höchsten Zuwachsraten entfallen dabei auf Afrika mit rund 800 Millionen Menschen und Indien mit 300 Millionen. Dabei überflügelt Indien die Volksrepublik China und wird zur bevölkerungsreichsten Land der Welt. Mit der Steigerung des Lebensstandards steigt auch der Energieverbrauch. Und der Zuzug in die urbanen Bereiche wird weiter anhalten. Leben derzeit schon 51 Prozent der Weltbevölkerung in städtischen Ballungsgebieten, werden es um 2040 mehr als 60 Prozent oder 5,4 Milliarden Menschen sein.

### Auswirkungen des veränderten Stadtklimas

Es ist allgemein bekannt, dass Städte Wärmeinseln darstellen. Dort findet man die höchsten Temperaturen am Tag an Bahnanlagen, gefolgt von Hausdächern im Innenstadtbereich. Nicht mehr ganz so warm sind die großen Straßenzüge, die mit Entfernung vom Stadtzentrum an Überwärmung verlieren. Von Grünanlagen gehen die Temperaturen über Friedhöfen, Parks und Wälder dann weiter zurück bis sie über Flüssen und Seen ihre Tiefstwerte erreichen. Neben dieser Entwicklung erhält das Thema Stadtklima noch eine Reihe weiterer wichtiger Aspekte. Hier geht es vor allem um die Lufthygiene, das heißt die Ausbreitung und Verdünnung von unerwünschten Luftbeimengungen

sowie Smog und deren Auswirkungen auf die Stadtbewohner.

### Wiener Linien auf Öko-Trip

Einen besonderen Erfolg verbucht das Wiener Verkehrsunternehmen mit der Initiative, möglichst viele Menschen für Jahreskarten zur Benutzung der „Greener Linien“ zu gewinnen. Gemessen an der Wiener Bevölkerung konnte mit 852.000 Jahreskarten für 2019 ein neuerlicher Rekord verzeichnet werden.

Im Jahr 2019 spulten die Fahrzeuge der Wiener Linien 78,1 Millionen Kilometer ab. Die längsten Strecken mit 39,6 Millionen Kilometern legten Euro-6-Busse und E-Busse zurück, gefolgt von den Straßenbahnen (22,9 Millionen Kilometer) und den U-Bahnen mit 15,6 Millionen Kilometern.

Ein Vergleich der Modal-Split-Anteile zeigt, dass Wien mit 38 Prozent im Vergleich zu

anderen Städten wie zum Beispiel München mit 24 Prozent auch international im Spitzenfeld liegt. Der Modal Split gibt die prozentuelle Aufteilung des Verkehrsaufkommens an und ist ein Kennwert für das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung.

Für das Jahr 2020 haben die Wiener Linien ein Mega-Investitionsprogramm in der Pipeline. Rund 368 Millionen Euro wird den weiteren Ausbau der öffentlichen Verkehrsmittel investiert werden. Geplant ist auch der Ankauf von auf Wasserstoffbasis betriebenen Autobussen. Die gesamten Infrastrukturmaßnahmen werden von der Stadt Wien finanziert, die über die Wiener Stadtwerke Holding Eigentümerin von dem Wiener Verkehrsunternehmen sind. □

Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte:  
Ulli Sima, Wiener Umweltstadträtin und  
Wiener Linien Geschäftsführer Günter  
Steinbauer



# Das Wunder Natur erhalten.

Das ist:

**Mein Antrieb.  
Meine Energie.**



Unsere Natur ist ein Wunder. Damit sie so bleibt, arbeiten wir an einer sauberen Energiezukunft. Mit 100% erneuerbarer Energie aus Wasserkraft.  
[www.verbund.com](http://www.verbund.com)

**Verbund**

## Landzeit Steinhäusl bei Wien – Ihr schönster Platz für Seminare

*Kein Stau, wunderbare Aussicht in den Wienerwald, freier Parkplatz  
und frischer Genuss den ganzen Tag*



Großzügiger Pausenraum  
mit Aussichtsterrasse



Landzeit-Seminarzentrum Steinhäusl  
bei Wien mit 40 Hotelzimmern und  
3 Restaurantkonzepten



Aussicht von den Seminarräumen und der  
Seminarterrasse auf den Wienerwald

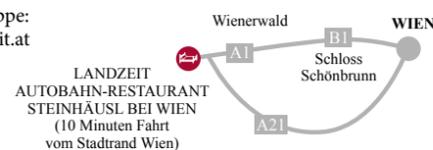


### Ihre Vorteile im Seminarzentrum Steinhäusl bei Wien:

- Acht Seminarräume flexibel kombinierbar für 5 bis 275 Personen
- Konzentration, Inspiration und Kraft schöpfen in der kreativen, vielfältigen Welt der Landzeit-Gastronomie
- Verkehrsgünstige Lage beim Zusammenschluss der A1, der West Autobahn, und der A21, der Wiener Außenring Autobahn
- Ausreichend Parkplätze vor dem Haus ohne Parkplatzgebühr
- Angenehme Atmosphäre in den Seminarräumen und perfekte Ausstattung der Seminarräume ohne extra Kosten für die Benützung des Beamer, der Leinwand und des Flipcharts, Gratis-WLAN
- Flexible Betreuung durch das kompetente Landzeit-Team
- Mittags hochqualitative Speisen im Gourmet-Markt-Restaurant Die Köstlichkeiten werden frisch zubereitet, die Mittagspause kann individuell eingeplant werden.
- Großzügiges Pausenbuffet
- Für Übernachtungsgäste bietet das angeschlossene Hotel optimalen Komfort.
- Landzeit wurde mehrere Jahre in Folge mehrfach ausgezeichnet (Service-Champion und Superbrand).
- Wir feiern 15 Jahre Landzeit und laden jeden Seminargast auf eine französische Auster „Fine de Claire“ ein.



Seminarmappe:  
[www.landzeit.at](http://www.landzeit.at)



Echt frisch gekocht!  
Zwei Jahre  
in Folge prämiert.



Zwei Jahre  
in Folge prämiert.

# Literature Review Summary

## SUPERCHARGED: THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES

OCTOBER 2019



# Contents

- INTRODUCTION** ..... 03
- IN FAVOR: ELECTRIC VEHICLE BENEFITS** ..... 04
- UNDER SCRUTINY: ELECTRIC VEHICLE BENEFITS** ..... 09
- PRODUCTION** ..... 11
- ABOUT ICEVS** ..... 12
- SUMMARY** ..... 13
- LIST OF SOURCES** ..... 14

## ABOUT THE LITERATURE REVIEW SUMMARY

Through recommendations made by the Fuels Institute’s Board of Advisors and the Institute’s independent research, the Fuels Institute reviewed nearly 40 reports, blogs, columns, presentations and news articles addressing the environmental impact of electric vehicles (EV). The following report summarizes the content of those resources.

We provide a bibliography of those resources at the end of this paper.

©2019 Fuels Institute

Disclaimer: Due to the fact that terminology and methodologies used in the reports varied greatly (or were not well described), this summary does not contain specific numbers or details. However, it should provide readers with an overall sense of what is being written with respect to IMO 2020 and the commonalities and trends that exist in the literature. It is important to remember that none of the statements presented below are purported to be true or accurate. Furthermore, none of the statements made below are those of the Fuels Institute. The content is presented as a summary and overview of the literature reviewed.

# Introduction

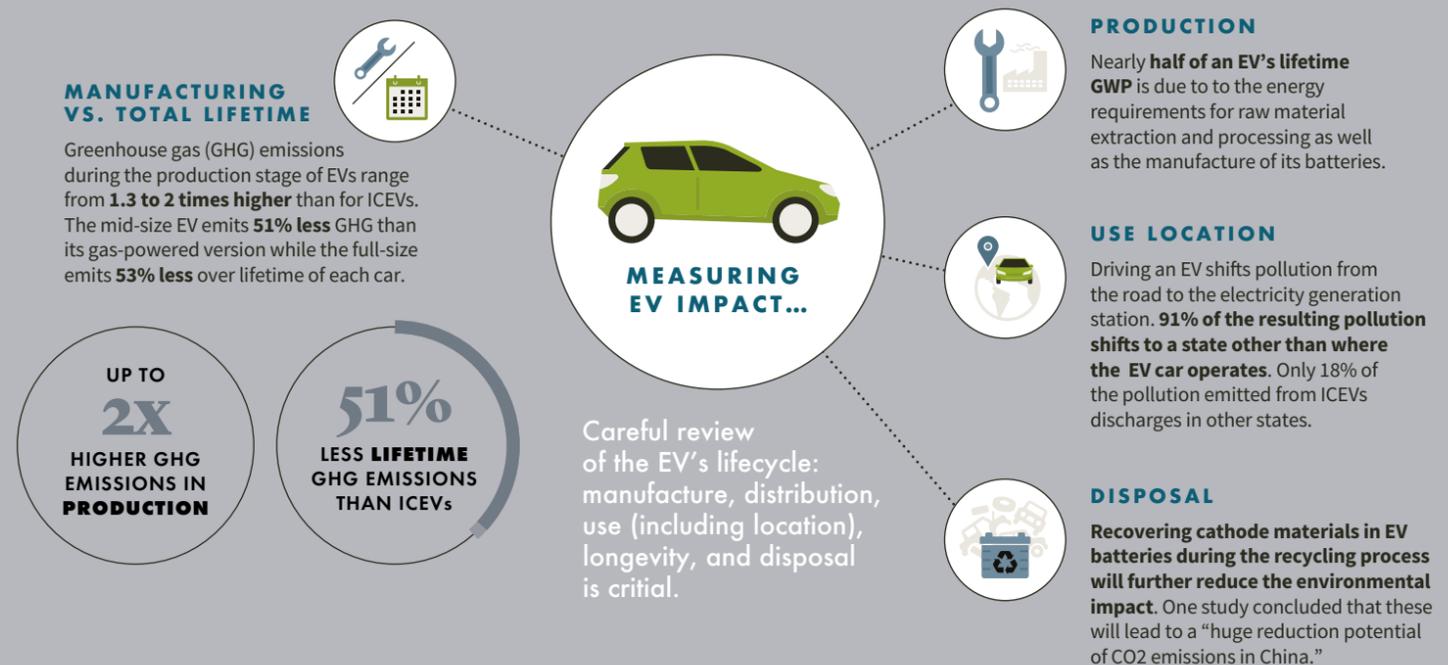
## The Environmental Impact of Electric Vehicles

Anyone standing next to two idling cars — one powered by an internal combustible engine (ICE) and the other by a battery — might assume it would be easy to identify the one producing the more damaging environmental impact. But can they?

While the tailpipe emissions from the two vehicles can be easily compared, this method of assessment captures just a snapshot of the complete environmental impact produced by the vehicles, some researchers maintain. While the EV and its faint, slot car-like hum has earned it mass public

perception of its eco-friendliness, one must assess the entire lifecycle of the EV to gain a more precise view of its environmental impact. That’s a view that captures its manufacture, distribution, use, longevity, disposal and even use location, to name just a few, during which both greenhouse gasses (GHS) and local pollutants are emitted. The literature offers differing views of the environmental impact of EVs. In this literature review, we will present those that seem to present a more positive evaluation of EVs and their benefits first, followed by those that seem less optimistic about the impact of EVs. Finally, we will look at recent studies of ICEs and their environmental impact.

### FULL ENVIRONMENTAL IMPACT: THE LIFECYCLE OF THE EV





# In Favor:

## Electric Vehicle Benefits

### GLOBAL WARMING IMPACT BY THE NUMBERS

Despite no tailpipe emissions, an EV still produces significant global warming emissions that depend on two factors: the vehicle’s efficiency and the source of electricity charging the battery. For the former, a less efficient EV draws on more electricity from the electric grid, which emits pollution; and for the latter, electricity that relies on coal power rather than renewable energy, for instance, will emit more pollution (more below).

Using mid- and full-size EVs as testing vehicles, the U.S. average fuel efficiency that gasoline-powered vehicles need to achieve to equal the emissions from their EV counterparts ranges from 35 miles per gallon mpg in the Central region to 112 mpg in northern Alaska — or an average of 68 miles per gallon across all regions.

When powered by the present mix of electricity in Europe, EVs deliver a 10% to 24% decrease in global warming potential (GWP) compared to internal combustible engine vehicles (ICEVs), assuming an average lifetime of 150,000 km (93,200 miles).

As grids tap more renewable sources of energy — grids are moving away from coal power and towards wind and solar — EVs will grow even cleaner. When renewables comprise 80% of a grid’s electricity, emissions from EVs will drop 25% during manufacturing and 84% during driving compared to current emissions. These reductions will produce measurable improvements that affect air quality, climate change and fossil fuel preservation.

### MANUFACTURING VS. TOTAL LIFETIME

Generally, greenhouse gas (GHG) emissions during the production stage of EVs range from 1.3 to 2 times higher than for ICEVs, mainly attributed to the manufacture of the EV’s lithium-ion battery. During this phase, a mid-size EV adds more than 1 ton of emissions or 15% more to the environment than its ICEV counterpart, while a full-size EV adds six tons of emissions, or 68% more. Overall, the mid-size EV overcomes its manufacturing emission “deficit” in just 4,900 miles (and the full-size in 19,000 miles) before achieving lower total lifetime emissions than its gas-powered counterpart. When evaluating the lifetime of each car, the mid-size EV emits 51% less than its gas-powered version while the full-size emits 53% less GHG.

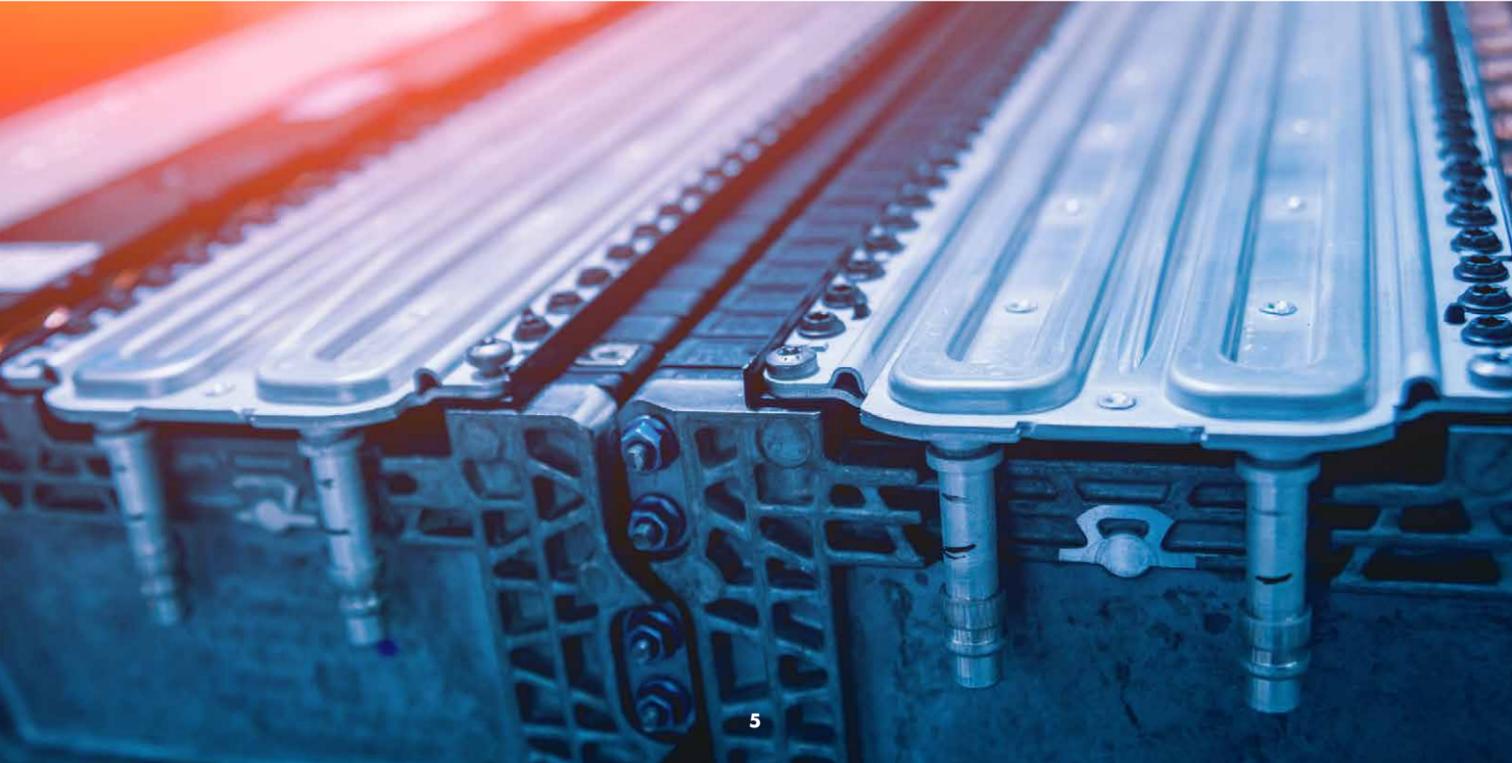
Other studies quantify the return on investment at two years of average usage, or 1.5 years if charging the EV from renewable energy, with grid decarbonization further reducing the break-even timeframe.

### ABOUT BATTERIES

One study of the lifetime impact of lithium-ion batteries concluded that while production has the greatest impact on GHG emissions, the total depends on the materials and techniques used. “[B]attery composition will influence overall battery mass, which in turn affects cradle-to-grave energy and emissions associated with battery production.” (See Source No. 16, pg. 74)

**As production techniques evolve and reduce the mass of cathode and anode materials, the environmental impact of EV batteries will also decrease. Furthermore, recovering cathode materials during the recycling process will further reduce the environmental impact.**

One study concluded that these will lead to a “huge reduction potential of CO2 emissions in China.” (See Source No. 26)



**Overall, the mid-size EV overcomes its manufacturing emission "deficit" in just 4,900 miles...the mid-size EV emits 51% less GHG than its gas-powered version.**



#### **CARBON FOOTPRINT**

At least one European study concluded that EVs emit less GHG than ICEVs, no matter the source of electricity at the power plant. For instance, even when considering the most carbon-intensive electricity, an EV emits less GHG than a diesel-powered vehicle. As regions move to more renewable sources of electricity — and as battery technology improves — the environmental performance of EVs will increase and add greater environmental benefits.

#### **TRENDING CLEANER**

Adding to the environmental value proposition of EVs is their trend of increased efficiency. Between 2003 and 2013, EVs achieved marked decreases in numerous emissions, including CO<sub>2</sub> (-15%), SO<sub>2</sub> (-70%) and NO<sub>x</sub> (-50%). While these numbers vary across regions, reductions are occurring throughout the U.S. and will continue as renewable sources of energy displace coal in the generation of electricity, resulting in even greater environmental benefits of EVs.

While higher fuel economy requirements are producing a commensurate decrease of emissions from ICEVs, technological advances in EV efficiency are keeping pace (if not running ahead). For instance, between 2015 and 2025, one study estimates that GWP will drop 22% for ICEVs and 26% for EVs. (See Source No. 4)



### GOVERNMENT INTERVENTION

Government policy can stimulate additional environmental benefits associated with EVs. At least one study pointed out numerous areas where government intervention would produce greater EV adoption and thus environmental benefits (See Source No. 2):

- INCREASE RENEWABLE ELECTRICITY GENERATION AND LOWER POWER PLANT EMISSIONS:** As noted above, transitioning the generation of electricity from coal to renewables would produce dramatic reductions in global warming emissions from EVs. If this renewable mix reaches 80% of the power supply by 2050, the resulting emissions from EVs would drop 60% from today's levels, comparable to an ICEV that achieves more than 300 mpg. The EPA's Clean Power Plan includes a goal of lowering carbon emissions from electricity generation by 32% between 2005-2030.
- INVEST IN BATTERY TECHNOLOGY:** With EV batteries producing the most profound environmental impacts, Congressional funding of battery research programs yields significant environmental improvements, as evidenced by several previous programs that helped reduce battery costs from \$1,000 per kWh in 2007 to \$300 per kWh by 2014.
- IMPROVE EV ACCESSIBILITY:** One study urged Congress to preserve the \$7,500 federal EV tax credit for EV purchases while reinstating a previous tax incentive that funded EV infrastructure development, including funding partnerships for more charging stations. (See Source No. 2) Such efforts spur adoption and reduce carbon emissions.

### GRID IMPACT

EVs provide ancillary benefits to the grid, including voltage and frequency regulation, as well as peak power leveraging and reactive power support [that] enhances operational efficiency, secures the electric grid and reduces power system operating costs.



# Under scrutiny:

## Electric Vehicle Benefits

There is much uncertainty in assessing the environmental benefits and impact of EVs. **Even beyond the lifecycle stages—production, driving, disposal, recycling—there are myriad factors that impact GHG emissions, including:**

1. The size of the EV
2. Lifetime mileage of the EV
3. Electricity generation mix
4. Type of ICEV (petrol vs diesel)

While GHG emissions tied to the production of EVs are 1.3-2 times higher than for ICEVs, the figure can rise even higher and depends on driving efficiency and the electricity generation source.

### SHIFTING POLLUTANTS

Much of the literature noted that EVs emit far less CO2 than their ICEV counterparts, a phenomenon irrespective of the electricity source. However, the makeup of the electric grid plays a role in the release of other gaseous pollutants and particulates. For instance, in China, even with an electric grid mostly

powered by coal, EVs decrease CO2 emissions by 20% compared to ICEVs. However, in the same study, emissions of PM10, PM2.5+, NOx, and SO2 emissions increased 360%, 250%, 120% and 370%, respectively. (See Source No. 19)

As noted above, geography plays a critical role in assessing the environmental impact of EVs, as traffic-related air pollution shifts from the road (generally densely populated, urban areas) to electricity generation stations (generally in rural areas). And the source of electricity in these stations plays an additional role.

When viewed in the context of the current electricity mix in the U.S., the use of EVs in regions where electricity is generated by coal, lignite or heavy oil combustion is “counterproductive.” (See Source No. 6, pg. 9, Par. 1 line 4) (Note: The use of coal and natural gas dominate the current U.S. mix, comprising nearly 70%). In these cases, increasing the fuel efficiency of ICEVs could produce a more significant reduction in greenhouse gas emissions.

### REEXAMINING EMISSIONS

As the lifecycle phases of an EV exhibit highly divergent emission patterns, it's imprecise to merely cite the driving phase when it comes to GHG emission

reductions. As noted, during this phase, pollution shifts from the road to electricity generation station, which are often distant from where the vehicles operate.

**In fact, 91% of the resulting pollution shifts to a state other than where the EV car operates, whereas only 18% of the pollution emitted from ICEVs discharges in other states.**

(See Source No. 2, pg. 19)

Additionally, while the electricity mix plays a role in emissions, the time of day when one charges an EV also impacts emissions. A Belgian study revealed that daytime charging, when demand is highest, “has a significant impact” producing increased emissions. (See Source No. 9, pg. 3443)

### ENVIRONMENTAL IMPACT

“[T]he ultimate environmental ... reality of electric vehicles is far more complicated than their promise,” one study concluded. (See Source No. 4, pg. 1) One must look at location to gain an accurate view of the comparable environmental impact of EVs vs ICEVs.

For instance, in Los Angeles, the carbon emissions from ICEVs is much larger than that for EVs, a result of the dense population and electricity generated from the Western power grid. However, the reverse occurs in the Midwest, where lower population densities incur fewer overall ICEV-related damages, and coal-fired electricity generation produces greater EV damages. In the latter case, the environmental benefit of an electric vehicle is negative and is almost equal to the damages from a comparable ICEV. Furthermore, in New York and Chicago, where the environmental damage from gasoline vehicles is heavy, the environmental benefits from EVs remain minimal or even negative, due to the source of electricity generation.

“The bottom line is that the economic and environmental rationales for subsidizing [EV]s do not withstand scrutiny,” one study concluded, noting that while EVs emit less CO2 than ICEVs, the amount is below 1% of the total forecast of U.S. CO2 emissions, and that when one considers the resulting increased emission of air pollutants — SOx, NOx and particulates — with the current mix of electric generation, EVs “will have no measurable impact on climate and hence, no economic value.” (See Source No. 7, pg. 26)

### HEALTH

One study looked at the current European electricity mix and concluded that while EVs offer a 10% to 24% reduction in GWP compared to ICEVs assuming a lifetime of 93,000 miles, supply chains involved in EV production “exhibit the potential for significant increases in human toxicity, freshwater eco-toxicity, firewater eutrophication, and metal depletion impacts ...” (See Source No. 6, pg. 1)

The increases are in part attributed to the toxic emissions that occur during the extraction of copper and nickel and their associated sulphidic mine tailings. Additionally, where electricity relies on coal, coal mining impacts human toxicity.

### SUBSIDIES

While governmental intervention can enhance the efficiency of EVs, one study argued that EV subsidies are discriminatory. (See Source No. 7) Citing 38 states, the District of Columbia, and the federal government as offering either direct or indirect EV subsidies, the study said that such efforts benefit the rich at the expense of the poor, who are unable to afford purchasing EVs but still must assume costs that support its infrastructure. That same study found a negligible economic benefit for EVs, further concluding that “there is no economic basis for the billions of dollars spent subsidizing their adoption.”



# Production

As noted above, environmental emissions for EVs during the production phase are up to twice that for comparable ICEVs. This section delves into a deeper discussion of that disparity, especially focusing on battery production.

**Production is responsible for nearly half of an EV’s lifetime GWP, owing to the energy requirements for raw material extraction and processing as well as the manufacture of its batteries.**

The environmental impact of battery production depends on location and the electricity used. For instance, Li-ion battery production primarily occurs in China, South Korea and Japan, whose electricity mix is generally carbon-intensive. Transitioning to lower carbon energy during this phase would lower GHG emissions.

In one study looking at the production of lithium-ion batteries in China, the GHG emissions were roughly 30% higher than those for comparable ICEVs. (See

Source No. 27) The main factors for these emissions derive from the production of cathode materials and rough aluminum, collectively making up nearly 75% of total emissions. Cathode production in particular requires significant energy to manufacture, due to impacts associated with materials extraction and processing, along with energy use. The study concluded that improving cathode production offered the greatest opportunities for decreasing GHG emissions.

Other studies estimate that battery production is responsible for between 10% to 70% of GHG emissions, with cell manufacturing and battery assembly accounting for between 3% and 80% of total battery emissions during the production phase.

The key phases of battery production that emit the most GHG are electrode drying and the operation of drying rooms during cell manufacture.

Finally, battery materials impact the environment in different ways. Batteries that use large amounts of aluminum LiMnO2 and LiFePO4, for instance, have a greater impact on ozone depletion.



# About ICEVs

Some of the literature shifted their focus to ICEVs, assessing those factors that would produce the desired economic benefit.

One study maintained that in light of “stringent emissions standards” and low-sulfur gasoline, ICEVs “emit very little pollution, and they will emit even less in the future.” (See Source No. 7, pg. 26) By 2035, another study concluded, advanced powertrains, coupled with low carbon intensity of future fuels (assuming that the U.S. continued developing clean fuels) could contribute to a substantial reduction in GHG emissions for ICEVs.



**Hypothetically, a densely populated urban area would see an improvement in air quality if EVs replaced all existing ICEVs, but similar air quality improvements could be realized by replacing existing ICEVs with new ICEVs, whose efficiencies emit less pollution than older vehicles.**

And depending on where electric-generating plants discharge pollution, the air quality in urban areas could actually decrease by introducing additional EVs.

# Summary

The recurring theme in much of the literature focused on variables — that is, EVs can benefit the environment if x, y and z are present. But then, only if a, b and c are not. And so on.



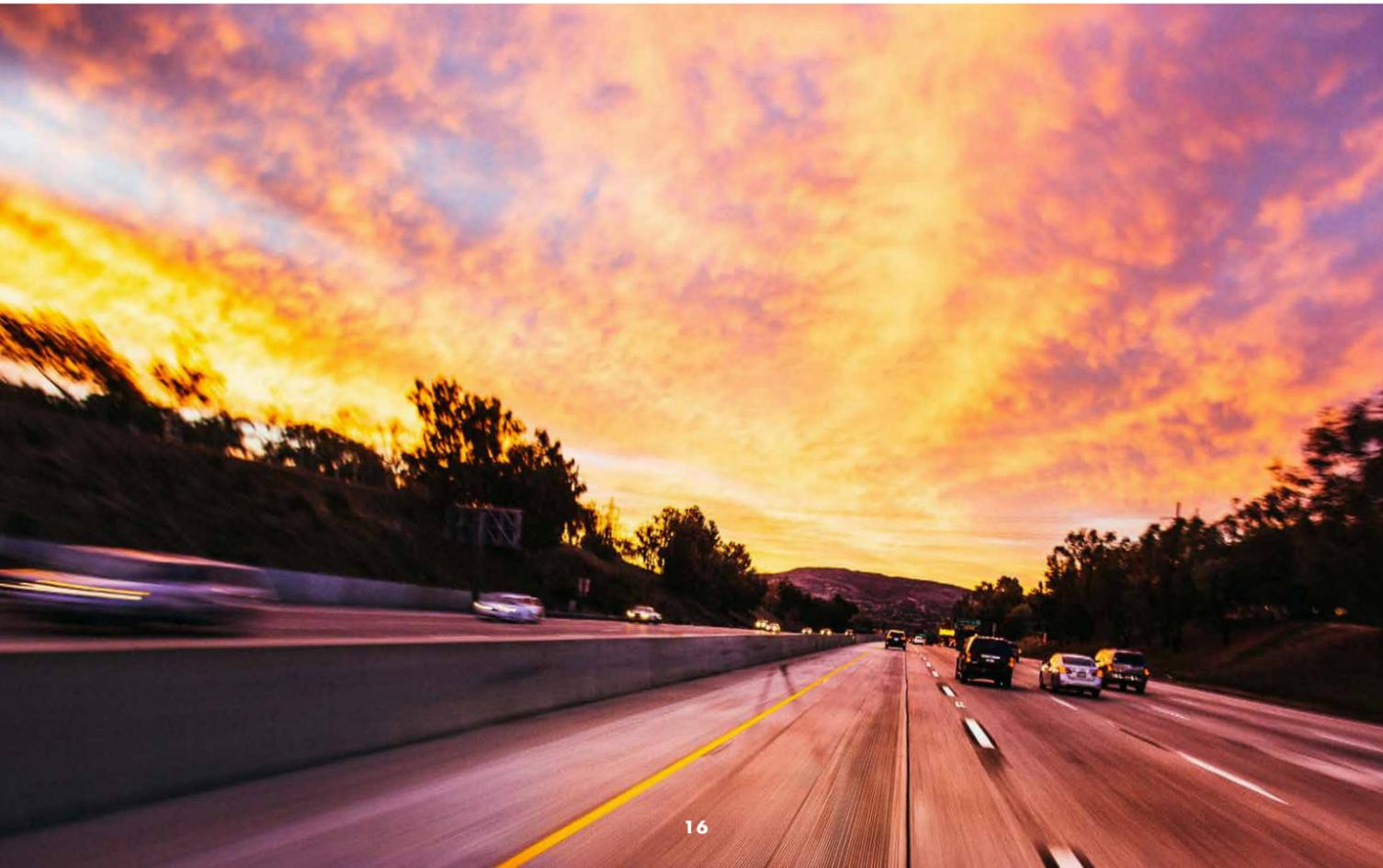
**Understanding these complex relationships, there was no consensus break-even set of conditions that need to occur in order to realize the environmental benefits that the public attributes to the adoption of EVs.**

If there were widespread adoption of EVs and a built out EV infrastructure and electricity generated from renewables and so on ... then assuredly, EVs would deliver significant environmental benefits. But the reality is far more complex, with innumerable variables that impact carbon emissions. As such, it seems that any accurate analysis is a snapshot in both time and place, whose unique circumstances may not offer any more widespread implications.

# Sources

1. Rachael Nealer, David Reichmuth & Don Anair, "Cleaner Cars from Cradle to Grave." *Union of Concerned Scientists* (November 2015).
2. Stephen Holland, Erin Mansur, Nicholas Muller & Andrew Yates, "Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles?" NBER (June 2015).
3. Tien Nguyen, Jake Ward & Kristen Johnson, "Well-to-Wheels Greenhouse Gas Emissions and Petroleum Use for Mid-Size Light-Duty Vehicles." *Office of Bioenergy Technologies, Fuel Cell Technologies & Vehicle Technologies* (May 2013).
4. Arthur D Little, "Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion Engine Vehicles." *Arthur D Little* (November 29, 2016).
5. M. Alexander, "Environmental Assessment of a Full Electric Transportation Portfolio." *Electric Power Research Institute* (September 2015).
6. Troy R. Hawkins, et. al., "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles." *Journal of Industrial Ecology* (October 2012).
7. Jonathan A. Lesser, "Short Circuit: The High Cost of Electric Vehicle Subsidies." *Manhattan Institute* (May 2018).
8. Dale Hall and Nic Lutsey, "Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions." *ResearchGate* (February 2018).
9. Joeri Van Mierloa, "Comparative Environmental Assessment of Alternative Fueled Vehicles Using a Life Cycle Assessment." [Sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com) (June 2017).
10. Transport & Environment, "Electric Vehicle Life Cycle Analysis and Raw Material Availability." [Transportenvironment.org](https://www.transportenvironment.org) (October 2017).
11. EPA's Office of Pollution Prevention and Toxics and EPA's Office of Research and Development, "Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles." United States Environmental Protection Agency (April 24 2013).
12. Jana Patterson, "Understanding the Life Cycle GHG Emissions for Different Vehicle Types and Powertrain Technologies." *Low Carbon Vehicle Partnership* (August 2018).
13. Amgad Elgowainy et. al., "Cost of Ownership and Well-to-Wheels Carbon Emissions/Oil Use of Alternative Fuels and Advanced Light-duty Vehicle Technologies." [Sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com) (October 5, 2013).
14. Amgad Elgowainy et. al., "Current and Future United States Light-Duty Vehicle Pathways: Cradle-to-Grave Lifecycle Greenhouse Gas Emissions and Economic Assessment." *Environmental Science & Technology* (2018).
15. Amgad Elgowainy et. al., "Cradle-to-Grave Lifecycle Analysis of U.S. Light Duty Vehicle-Fuel Pathways: A Greenhouse Gas Emissions and Economic Assessment of Current (2015) and Future (2025-2030) Technologies." *Argonne National Laboratory* (2016).
16. Jennifer B. Dunn, Linda Gaines, Jarod C. Kelly & Kevin G. Gallagher, "Life Cycle Analysis Summary for Automotive Lithium-Ion Battery Product." *The Minerals, Metals & Materials Society* (2016).
17. J. B. Dunn et. al., "The Significance of Li-ion Batteries in Electric Vehicle Life-cycle Energy and Emissions and Recycling's Role in its Reduction." *RSC Publishing* (December 17, 2014).
18. European Environment Agency, "Electric Vehicles From Life Cycle and Circular Economy Perspectives." *European Environment Agency* (November 9, 2018).
19. Weeberb J.Requia et. al., "How Clean Are Electric Vehicles? Evidence-based Review of the Effects of Electric Mobility on Air Pollutants, Greenhouse Gas Emissions and Human Health." *Elsevier* (May 1, 2018).
20. L. Gaines and J. Sullivan, "How Green is Battery Recycling?" Argonne National Laboratory (undated).
21. Max Grünig, Marc Witte, Dominic Marcellino et. al. "An Overview of Electric Vehicles on the Market and in Development." *Ecologic Institute* (April 2011).
22. Linda Gaines and Jennifer Dunn, "Lithium-ion Battery Production and Recycling Materials Issues." *Argonne National Laboratory* (June 9, 2015).
23. Ingrid Malmgren, "Quantifying the Societal Benefits of Electric Vehicles." MDPI (December 30, 2016).
24. Francis Mwasilu et. al., "Electric Vehicles and Smart Grid Interaction: A Review on Vehicle to Grid and Renewable Energy Sources Interaction." *Elsevier* (April 3, 2014).
25. Salman Habib, Muhammad Kamran & Umar Rashid, "Impact Analysis of Vehicle-to-Grid Technology and Charging Strategies of Electric Vehicles on Distribution Networks - A Review." *Journal of Power Sources* (December 4, 2014).
26. Qinyu Qiao et. al., "Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China." *MDPI* (June 2017).
27. Han Hao et. al., "GHG Emissions from the Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles in China." *MDPI* (April 4, 2017).

28. John Kingston, "Hydrogen, Not Batteries, Seen as the Fuel for Carbon-free Trucking in the Long Run." [Amp.freightwaves.com](http://Amp.freightwaves.com) (March 12, 2019).
29. Jonathan A. Lesser, "Short Circuit: The High Cost of Electric Vehicle Subsidies." *Manhattan Institute* (May 14, 2018).
30. Linda Ellingsen & Christine Hung, Christine, "Research for TRAN Committee - Battery-Powered Electric Vehicles: Market Development and Lifecycle Emissions." *European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies*, Brussels (2018).
31. Linda Ager-Wick Ellingsen, "The Size and Range Effect: Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Electric Vehicles." *IOP Publishing Ltd.* (May 6, 2016).
32. Jack Stewart, "Look Here: Even More Evidence That Electric Cars Could Save the Planet." *WIRED* (March 15, 2018).



# About the Fuels Institute

The Fuels Institute, founded by NACS in 2013, is a 501(c)(4) non-profit research-oriented think tank dedicated to evaluating the market issues related to vehicles and the fuels that power them. By bringing together diverse stakeholders of the transportation and fuels markets, the Institute helps to identify opportunities and challenges associated with new technologies and to facilitate industry coordination to help ensure that consumers derive the greatest benefit.

The Fuels Institute commissions and publishes comprehensive, fact-based research projects that address the interests of the affected stakeholders.

Such publications will help to inform both business owners considering long-term investment decisions and policymakers considering legislation and regulations affecting the market. Research is independent and unbiased, designed to answer questions, not advocate a specific outcome. Participants in the Fuels Institute are dedicated to promoting facts and providing decision makers with the most credible information possible, so that the market can deliver the best in vehicle and fueling options to the consumer.

For more about the Fuels Institute, visit [fuelsinstitute.org](http://fuelsinstitute.org)

## FUELS INSTITUTE STAFF

### JOHN EICHBERGER

Executive Director

[jeichberger@fuelsinstitute.org](mailto:jeichberger@fuelsinstitute.org)

### AMANDA APPELBAUM

Director, Research

[aappelbaum@fuelsinstitute.org](mailto:aappelbaum@fuelsinstitute.org)

### DONOVAN WOODS

Director, Operations

[dwoods@fuelsinstitute.org](mailto:dwoods@fuelsinstitute.org)

## NACS

The Fuels Institute was founded in 2013 by NACS, the international association that advances convenience and fuel retailing. Through recurring financial contributions and daily operational support, NACS helps the Fuels Institute to invest in and carry out its work to foster collaboration among the various stakeholders with interests in the transportation energy market and to promote a comprehensive and objective evaluation of issues affecting that market and its customers both today and in the future. NACS was founded August 14, 1961, as the National Association of Convenience Stores, and represents more than 2,100 retail and 1,600 supplier company members.

[www.convenience.org](http://www.convenience.org)

# Fuels Institute

---

OBJECTIVE • COLLABORATIVE • RESEARCH

(703) 518-7970  
FUELSINSTITUTE.ORG  
@FUELSINSTITUTE

1600 DUKE STREET  
SUITE 700  
ALEXANDRIA, VA 22314