

verbraucherzentrale

Mit Online-  
Rechner Geld  
sparen



# Ratgeber Heizung

Wärme und Warmwasser  
für mein Haus

5.  
Auflage

JOHANNES SPRUTH

## **Ratgeber Heizung**

Wärme und Warmwasser  
für mein Haus

### **Unser Service für Sie**

Ob Photovoltaikanlage, Wärmepumpe oder Gasbrenntwertkessel – die Wirtschaftlichkeit Ihrer Investition können Sie individuell berechnen. Unser **Online-Tool** liefert auf der Grundlage Ihrer Eingaben die wichtigsten Kennzahlen: [www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/haustechnik](http://www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/haustechnik)

Wenn neue Gesetze und Verordnungen in Kraft treten oder sich zum Beispiel Förderbedingungen oder Leistungen ändern, finden Sie die wichtigsten Fakten in unserem Aktualisierungsservice zusammengefasst. Mit dem Klick auf [www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/aktuell](http://www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/aktuell) sind Sie dann ergänzend zu dieser Auflage des Buches auf dem neuesten Stand. Diesen Service bieten wir so lange, bis eine Neuauflage des Ratgebers erscheint, in der die Aktualisierungen bereits eingearbeitet sind. Wir empfehlen, Entscheidungen stets auf Grundlage aktueller Auflagen zu treffen. Die lieferbaren aktuellen Titel finden Sie in unserem Shop: [www.ratgeber-verbraucherzentrale.de](http://www.ratgeber-verbraucherzentrale.de)

# Ratgeber Heizung

Wärme und Warmwasser  
für mein Haus

JOHANNES SPRUTH

**verbraucherzentrale**



6

Über dieses Buch



47

Anlagentechniken und Co.

# Inhalt

6 Über dieses Buch

## 8 Die wichtigsten Fragen und Antworten

14 Im Überblick:  
Neubau – Die passende  
Haustechnik finden

16 Im Überblick:  
Bestandsgebäude –  
Die passende Haus-  
technik finden

## 19 Klimawandel geht uns alle an

28 Sektorkopplung: Strom,  
Wärme, Straßenverkehr

33 Gebäudeenergiegesetz:  
Forderungen an  
Neu- und Altbau

38 EU-Heizungsetikett:  
Aus für ineffiziente  
Kessel

39 Wirtschaftlichkeit:  
Billig ist nicht das Beste

42 Behaglichkeit: Das  
Haus warm einpacken

## 47 Anlagentechniken und Co.

47 Brennwertkessel für  
Gas und Öl

52 Holzheizungen

60 Blockheizkraftwerk:  
Die stromerzeugende  
Heizung

68 Fernwärme-  
übergabestation

72 Elektroheizungen

75 Wärmepumpen

90 Warmwasserbereitung

99 Thermische  
Solaranlagen



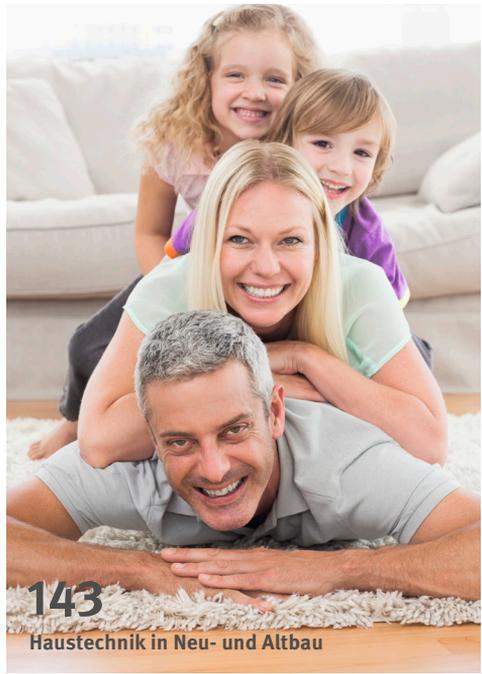
19

Klimawandel geht uns alle an



225

Anhang



143

Haustechnik in Neu- und Altbau

- 110 Photovoltaikanlagen liefern auch Wärme
- 117 Holzheizung plus thermische Solaranlage
- 121 Hybrid-Wärmepumpen
- 124 Wärmepumpe plus thermische Solaranlage
- 127 Wärmepumpe plus Photovoltaik
- 132 Gute Luft und Lüftungsanlagen
- 140 Smarthome-Systeme

### 143 Haustechnik in Neu- und Altbau

- 143 Neubau
- 177 Altbau
- 177 Optimierung der Heizungsanlage
- 180 Haustechnikvarianten
- 182 Familie Schulte heizt mit Öl
- 194 Familie Jansen heizt mit Gas
- 202 Familie Korte heizt mit Holz
- 209 Familie Güngör heizt mit Strom
- 219 Beratung, Auftrag und Vergabe
- 222 Das Haus von morgen

### 225 Anhang

- 225 Glossar
- 230 Adressen
- 232 Stichwortverzeichnis
- 237 Bildnachweis
- 238 Impressum



## Über dieses Buch

Sie planen einen Neubau oder wollen Ihr bestehendes Gebäude sanieren? Dann stellt sich auch die Frage, wie Sie künftig heizen und warmes Wasser erzeugen wollen. Es geht um die passende Technik für Ihr Haus. Sie haben die Wahl: Mit einer Brennstoffzelle im Keller können Sie Wärme und Strom erzeugen oder Sie nutzen die Außenluft und heizen mit einer Wärmepumpe oder heizen mit Holz in einem Pelletkessel. Möglicherweise lohnt sich der Anschluss an ein Fernwärmenetz. Oder Sie nutzen die Sonne als kostenlosen und umweltfreundlichen Energielieferanten und erzeugen per Solarthermie oder Photovoltaik Warmwasser.

Sie können auch Techniken miteinander kombinieren: zum Beispiel Holzheizung mit einer thermischer Solaranlage – oder Wärmepumpe mit einer Photovoltaikanlage und/oder einer thermischen Solaranlage.

Bei dieser Vielzahl an Möglichkeiten ist es wichtig, den Überblick zu behalten und für sich die passende technische Lösung zu finden. Dabei helfen wir Ihnen, zeigen, wie das alles funktioniert und welche Vor- und Nachteile die einzelnen Techniken haben. Ob eine Technik für Sie in Frage kommt, hängt natürlich immer von den Bedingungen vor Ort ab. Mit unseren Checklisten prüfen Sie das Schritt für Schritt und planen die Umsetzung.

In Zeiten des Klimawandels sollte neue Haustechnik möglichst wenig Kohlendioxid produzieren. Das gelingt, wenn fossile Energiequellen immer häufiger durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Zunehmend wird das auch in den **gesetzlichen Rahmenbedingungen** gefordert. Die Bundesregierung plant, dass neue Heizungen ab 2024 zu mindestens 65 Prozent erneuerbare Energien nutzen müssen. Dies ist aber noch nicht beschlossen. Wir zeigen Ihnen, welche Vorgaben für Neubauten und Bestandgebäude gelten und wie Sie diese umsetzen (→ Seite 33). Wer die Vorgaben übertrifft, erhält in aller Regel eine **staatliche Förderung** – für viele Sanierungsmaßnahmen bei Bestandsgebäuden (→ Seite 184) und beim Neubau, wenn bestimmte Kriterien in Sachen Nachhaltigkeit erfüllt werden (→ Seite 148). Änderungen, die seit Januar 2023 greifen, haben wir berücksichtigt.

## Anlagentechniken und Einsatzmöglichkeiten

Nachdem wir im Kapitel „**Anlagentechniken und Co.**“ (→ Seite 47) alle Haustechniken ausführlich und mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben haben, stellen wir im Kapitel „**Haustechnik in Alt- und Neubau**“ dar, wie sie eingesetzt werden können – ab Seite 143 für den Neubau, ab Seite 177 bei der Sanierung von Bestandsgebäuden. Jede Haustechnikvariante – vom Brennwertkessel über die Solaranlage bis zur Wärmepumpe – haben wir durchgerechnet und zeigen anhand von Beispielsgebäuden ihre Wirtschaftlichkeit. **Wir sind dabei von Durchschnittskosten und gedeckelten Energiepreisen (→ Seite 40) ausgegangen.** Beim **Neubau** stellen wir der Ausgangsplanung, die gerade die gesetzlichen Vorgaben erfüllt, mehrere wirtschaftlich interessante Varianten gegenüber – mit allen wichtigen Kennzahlen: Investitionskosten, Betriebskosten, Amortisationszeit, Kosteneinsparung nach 20 Jahren, Kohlendioxidausstoß (Tabelle → Seite 168/169). Außerdem nennen wir den Autarkiegrad Strom und Wärme – eine wichtige Kennzahl in Zeiten, in denen fossile Brennstoffe (Gas, Öl und Kohle) starken Preisschwankungen unterworfen sind und am besten in der Erde bleiben (→ Seite 23). Einen Überblick zu allen Haustechnikvarianten für den Neubau finden Sie auf Seite 14/15.

Für die Sanierung der Haustechnik im **Altbau** finden Sie vier Beispielfamilien, die ihr Haus bislang mit Öl (→ Seite 182), Gas (→ Seite 194), Holz (→ Seite 202) oder Strom (→ Seite 209) versorgen. Auch hier haben wir für zahlreiche Technikvarianten die nötigen Kennzahlen ermittelt. Welche Haustechnik sich lohnt, finden Sie in den entsprechenden **Tabellen** übersichtlich dargestellt (→ Seite 190/191, 200/201, 206/207, 214–217). Einen Überblick zu allen Haustechnikvarianten für Bestandsgebäude finden Sie auf Seite 16/17.

## Wirtschaftlichkeit individuell berechnen

Jedes Gebäude ist anders, mit unterschiedlichem Energieverbrauch. Auch die Investitionskosten für eine neue Haustechnik und die Energiepreise werden im konkreten Fall von unseren Beispielen abweichen. Deshalb bieten wir Ihnen die Tabellen aus dem Buch als **interaktives Modul im Internet** an: **[www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/haustechnik](http://www.ratgeber-verbraucherzentrale.de/haustechnik)**. Dort können Sie Ihre Werte eingeben und erhalten ein Ergebnis für Ihre individuelle Planung.

Mit diesem Wissen präpariert, können Sie die weitere Umsetzung Ihrer Planungen in Angriff nehmen. Die Energieberatung der Verbraucherzentralen unterstützt Sie dabei individuell: **[www.verbraucherzentrale-energieberatung.de](http://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de)**

Wir wünschen Ihnen gutes Gelingen.



# Die wichtigsten Fragen und Antworten

→ Jährlich beantworten wir in unseren bundesweit rund 200 Beratungsstellen Hunderttausende von Fragen und helfen bei der Lösung von Problemen, die Verbraucherinnen und Verbraucher an uns herantragen. Aus dieser täglichen Praxis wissen wir am besten, wo der Schuh drückt und wie konkrete Unterstützung aussehen muss. Diese Erfahrungen sind Grundlage unserer Ratgeber: mit präzisen, verbraucherorientierten Informationen, zahlreichen Tipps und Hintergrundinformationen zum besseren Verständnis.

Als Energieberater der Verbraucherzentrale NRW habe ich über 25 Jahre Hauseigentümer bei der energetischen Sanierung ihrer Immobilie beraten. Dieses Praxiswissen ist in diesen Ratgeber geflossen und soll nun auch Sie bei der Planung Ihrer neuen Heizungsanlage unterstützen.

Nutzen Sie auch die Energieberatung der Verbraucherzentralen und profitieren Sie von unserer Beratungskompetenz. Im persönlichen Gespräch in der Beratungsstelle, online, telefonisch oder auch bei Ihnen zu Hause erhalten Sie wertvolle individuelle Hinweise und Tipps: [www.verbraucherzentrale-energieberatung.de](http://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de)

Dr. Johannes Spruth

## Welche gesetzlichen Bedingungen muss ich beim Neubau oder der Altbausanierung einhalten?

Neben den allgemeinen Bauvorschriften, die in anderen Ratgebern der Verbraucherzentrale behandelt werden, gibt es Anforderungen an den energetischen Zustand: das Gebäudeenergiegesetz (GEG), welches die Anforderungen an das Gebäude, die Haustechnik und den Einsatz erneuerbarer Energie zusammenfasst. Wir erläutern die Anforderungen, die für Neubau und Altbausanierung gelten (→ [Seite 33](#)), auch an einem Beispiel für eine Neubauplanung.

→ [Seite 143](#) Für zahlreiche Haustechnikvarianten wird dargestellt, wie Sie über die gesetzlichen Anforderungen herausgehen können, was es kostet und welche Einsparungen Sie erzielen. → [Seite 168/169](#) Dort (→ [Seite 148](#)) wird auch dargestellt, wie Sie die neue "Bundesförderung für effiziente Gebäude" (BEG) für Ihre Neubauplanung nutzen können, wenn Sie mehr machen, als es das Gesetz fordert.

Und bei der Altbausanierung gibt es attraktive Förderungen für effektive Haustechnik. Einen Überblick finden Sie auf [Seite 184](#).

## Lohnt es sich überhaupt, eine alte Heizungsanlage auszutauschen?

Ja, das lohnt sich ganz häufig. Alte Heizungsanlagen haben hohe Verluste, selbst wenn der Schornsteinfeger bescheinigt, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Denn er bestimmt nur den Abgasverlust. Es gibt aber weitere Gründe für unnötig hohe Heizkosten. Manchmal hilft es schon, die Heizungsanlage zu optimieren.

→ [Seite 177](#)

In vielen Fällen ist es aber wirtschaftlicher, den Heizkessel auszutauschen und auf einen anderen Energieträger umzusteigen. Dazu müssen Sie zwar erst einmal Geld in die Hand nehmen, sparen das aber durch geringere Energiekosten in kurzer Zeit wieder ein. Außerdem gibt es attraktive Förderungen → [Seite 184](#). Anhand von Beispielhäusern zeigen wir, mit welcher Anlagentechnik Sie Ihre alte Öl-, Gas- oder Holzheizung oder den Elektro-Nachtspeicher sinnvoll ersetzen können. Wir haben alles durchgerechnet und nennen Ihnen die Investitions- und Betriebskosten, die Kosteneinsparung und Amortisationszeit für verschiedene Alternativen zu Ihrer alten Heizungsanlage. → [Seite 180](#)

## Was ist beim Fernwärmeschluss zu beachten?

Haben Sie die Möglichkeit, sich an ein Fernwärmenetz anschließen zu lassen? Die Investitionskosten sind niedrig und es entfallen Kosten für Wartung und Schornsteinfeger. Dagegen können die Energiekosten hoch sein. In jedem Fall sollten Sie eine Vollkostenrechnung im Vergleich mit anderen Alternativen durchführen (lassen). Für die Umweltbilanz ist wichtig, aus welcher Quelle die Fernwärme stammt. Am günstigsten sind industrielle Abwärme oder erneuerbare Energien. Für Anschlüsse an ein Fernwärmenetz gibt es Fördermittel.

→ Seite 68

## Funktioniert eine Wärmepumpe auch im Altbau?

Ja, eine Wärmepumpe kann auch im Altbau funktionieren. Die allgemein verbreitete Meinung, eine Wärmepumpe brauche unbedingt eine Fußbodenheizung, gilt heute nicht mehr. Entscheidend ist allerdings eine Vorlauftemperatur im kältesten Winter von höchstens 55 Grad. In manchen Altbauten kann es deswegen nötig sein, vor dem Einbau einer Wärmepumpe den baulichen Wärmeschutz zu verbessern und/oder einzelne Heizkörper durch größere oder spezielle Wärmepumpenheizkörper zu ersetzen.

Eine Wärmepumpe arbeitet zwischen zwei Temperaturen. Die geringsten Stromverbräuche erzielen Sie, wenn der Temperaturunterschied nicht sehr groß ist. Die Wärmequelle (Grundwasser, Erdreich oder Luft) sollte ganzjährig möglichst warm und das Heizsystem mit einer möglichst geringen Temperatur zufrieden sein – optimal ist hier eine Flächenheizung. → Seite 75  
Aber auch mit herkömmlichen Heizkörpern können Sie ein befriedigendes Ergebnis erzielen, wie unsere Beispiele zeigen.  
→ Seite 186, 189, 193, 196, 198, 204, 208, 211, 218

## Wie heize ich effektiv mit Holz?

Ganz wichtig ist eine effektive Verbrennung: Dazu gehört die richtige Bedienung des Ofens, die sparsame Verwendung von trockenem Holz (nicht zu viel Holz auflegen) und ein vollständiges Verbrennen. Holz ist eine erneuerbare, CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle: Denn beim Verbrennen wird die vorher von den Bäumen aufgenommene Menge an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wieder abgegeben. Das gilt allerdings nur, wenn die Wälder nachhaltig bewirtschaftet werden. Um den Klimawandel aufzuhalten, ist die Holzverbrennung leider nicht geeignet; denn hier wird in kurzer Zeit Kohlendioxid freigesetzt, welches von den Bäumen in langer Zeit eingesammelt wurde. Laut neuestem Bericht des IPCC (→ [Seite 227](#)) verbleiben aber nur noch wenige Jahre Zeit, um klimaneutral zu werden. Mehr zur Holzheizung, auch zur komfortablen Heizung mit Pellets:

→ [Seite 52](#)

## Wie kann ich ein Blockheizkraftwerk (BHKW) wirtschaftlich nutzen?

Ein BHKW erzeugt gleichzeitig Strom und Wärme. Wirtschaftlich sinnvoll kann es nur betrieben werden, wenn auch die Wärme zeitnah in Ihrem Haus genutzt werden kann. Für das Ein- oder Zweifamilienhaus kommen deswegen nur Geräte mit kleiner Leistung in Betracht. Denn größere Blockheizkraftwerke würden zu viel überschüssige Wärme erzeugen. Wird zum Beispiel im Winter mehr Wärme benötigt, muss diese dann aus einer anderen Quelle kommen. Eine ausführliche Beschreibung der Technik und Tipps zum wirtschaftlichen Einsatz finden Sie ab → [Seite 60](#). Und anhand von Beispielhäusern erfahren Sie, wie sich das in der Praxis realisieren lässt. → [Seite 153, 185, 196, 210](#)

## Thermische Solaranlage oder Photovoltaikanlage: Was sollte ich anschaffen?

Beide Techniken haben ihre Berechtigung: Die thermische Solaranlage holt bei gleicher Fläche erheblich mehr Energie vom Dach, dagegen ist der Strom der Photovoltaikanlage die wertvollere Energie. Geht es um die Wassererwärmung, so ist ab einem Vierpersonenhaushalt meistens die thermische Solaranlage vorzuziehen.

→ **Seite 99** Auch das Sonnenhauskonzept (→ **Seite 117**) benötigt eine große thermische Solaranlage.

Ist Ihr Haushalt kleiner oder wünschen Sie den Betrieb einer Wärmepumpe und möchten sich mit eigenem Strom versorgen? Das geht nur mit einer Photovoltaikanlage. Da die Preise enorm gesunken sind, ist das längerfristig eine sinnvolle Lösung.

→ **Seite 110** Haben Sie genug Platz auf dem Dach? Thermische Solaranlage, Photovoltaikanlage und Wärmepumpe können sich sehr gut ergänzen.

→ **Seite 124, 127**

## Was ist ein Effizienzhaus?

Die bundeseigene Förderbank (KfW) und das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) vergeben im Rahmen der „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) (→ **Seite 148 und 184**) für Neubau und Altbausanierung günstige Kredite und/oder Zuschüsse. Besonders hoch sind die förderfähigen Kosten, wenn ein Effizienzhausstandard erreicht wird. Dann gibt es bei der Altbausanierung einen stark zinsverbilligten Kredit mit Tilgungszuschuss, für Neubauten einen sehr günstigen Kredit. Allerdings muss seit einiger Zeit der Neubau nicht nur energieeffizient sein, sondern zusätzlich Nachhaltigkeitsanforderungen einhalten (→ **Seite 172**). Bei der Altauförderung gilt: je effizienter, desto höher der Tilgungszuschuss (→ **Seite 37**). Der Effizienzhausstandard orientiert sich an den Vorgaben und Berechnungsverfahren für Neubauten (→ **Seite 33**). Im Kapitel „Haustechnik in Neu und Altbau“ lesen Sie, wie sinnvoll das Effizienzhaus bei Neubauvorhaben ist (→ **Seite 147**).

## Was bringt meine Wahl der Haustechnik für den Klimaschutz?

Durch den Austausch des Heizkessels und die Wahl des Energieträgers, beispielsweise Umweltwärme für eine Wärmepumpe, können Sie die Kohlendioxid-Belastung durch Ihr Haus erheblich verkleinern. Installieren Sie zusätzlich eine Photovoltaikanlage, so verdrängen Sie dadurch klimabelastenden Kohlestrom. Das kann bis zur Klimaentlastung führen: Dann erzeugt Ihr Haus mehr umweltfreundlichen Strom, als es benötigt.

→ Seite 159, 160, 164, 165, 194, 198, 208, 218

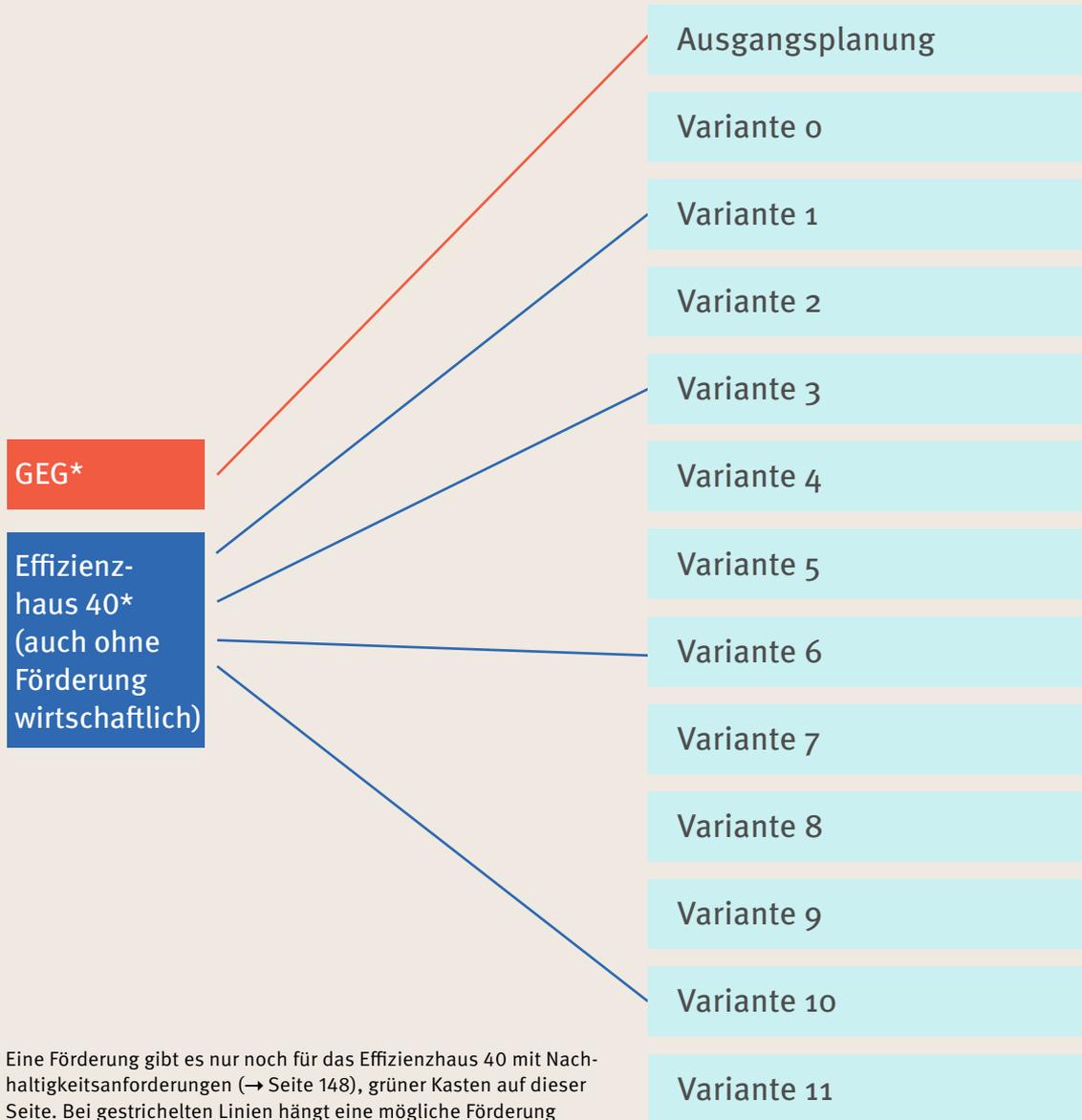
Durch den Ukraine-Krieg ist allen bewusst geworden, wie stark unsere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen (Öl, Gas) aus dem Ausland ist. In den Tabellen im Ratgeber (→ Seite 168/169, 190/191, 200/201, 206/207, 214–217) gibt es auch Angaben, wie stark eine Haustechnikvariante zu Ihrer Autarkie (Unabhängigkeit) von Energieversorgern beitragen kann.

## Wie kann ich meine alte Heizungsanlage kostengünstig optimieren?

Da gibt es viele Möglichkeiten: Thermostatventile können ausgetauscht, Rohre gedämmt, die Heizungsregelung passend eingestellt oder ein hydraulischer Abgleich gemacht werden. → Seite 177 Geht es darum, beim Warmwasser zu sparen? Wir geben Tipps zu Duschgewohnheiten, zum Austausch des Duschkopfes, zu sparsamen Armaturen und zur Optimierung Ihrer Warmwasserversorgung. → Seite 90 Viele Maßnahmen sind preiswert, werden zudem vom Staat gefördert und rechnen sich in kurzer Zeit.

→ Seite 182, 195, 202

# Neubau: Die passende Haustechnik finden – und eine der Effizienzhausklassen\* erreichen



\* Eine Förderung gibt es nur noch für das Effizienzhaus 40 mit Nachhaltigkeitsanforderungen (→ Seite 148), grüner Kasten auf dieser Seite. Bei gestrichelten Linien hängt eine mögliche Förderung davon ab, dass es sich nicht um eine Öl- bzw. Gas- oder Biomasseanlage handelt. Zu den Effizienzhausklassen sowie zum Gebäudeenergiegesetz (GEG) → Seite 33, 37, 147

Brennwertkessel und  
Solarthermie → Seite 143

Brennwertkessel und  
Solarthermie → Seite 149

Holzheizung → Seite 152

Blockheizkraftwerk (BHKW)  
→ Seite 153

Fernwärme → Seite 154

Wärmepumpe → Seite 156

Solarthermie zur Heizungs-  
unterstützung → Seite 157

Elektroheizung und  
Photovoltaik → Seite 157

Holzheizung und  
Solarthermie → Seite 161

Hybrid-Wärmepumpe  
→ Seite 161

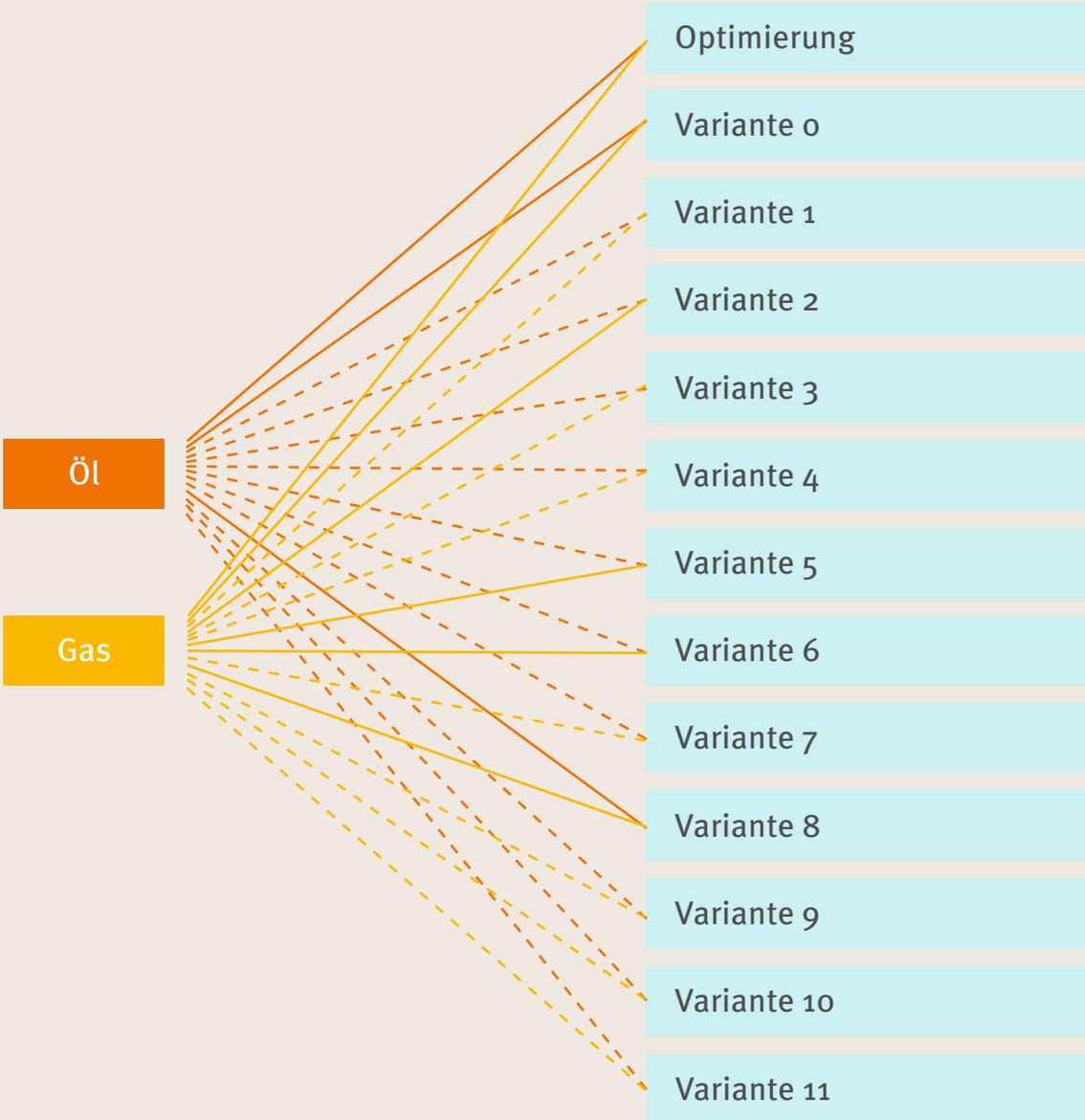
Erd-Wärmepumpe und  
Solarthermie → Seite 162

Wärmepumpe und  
Photovoltaik → Seite 163

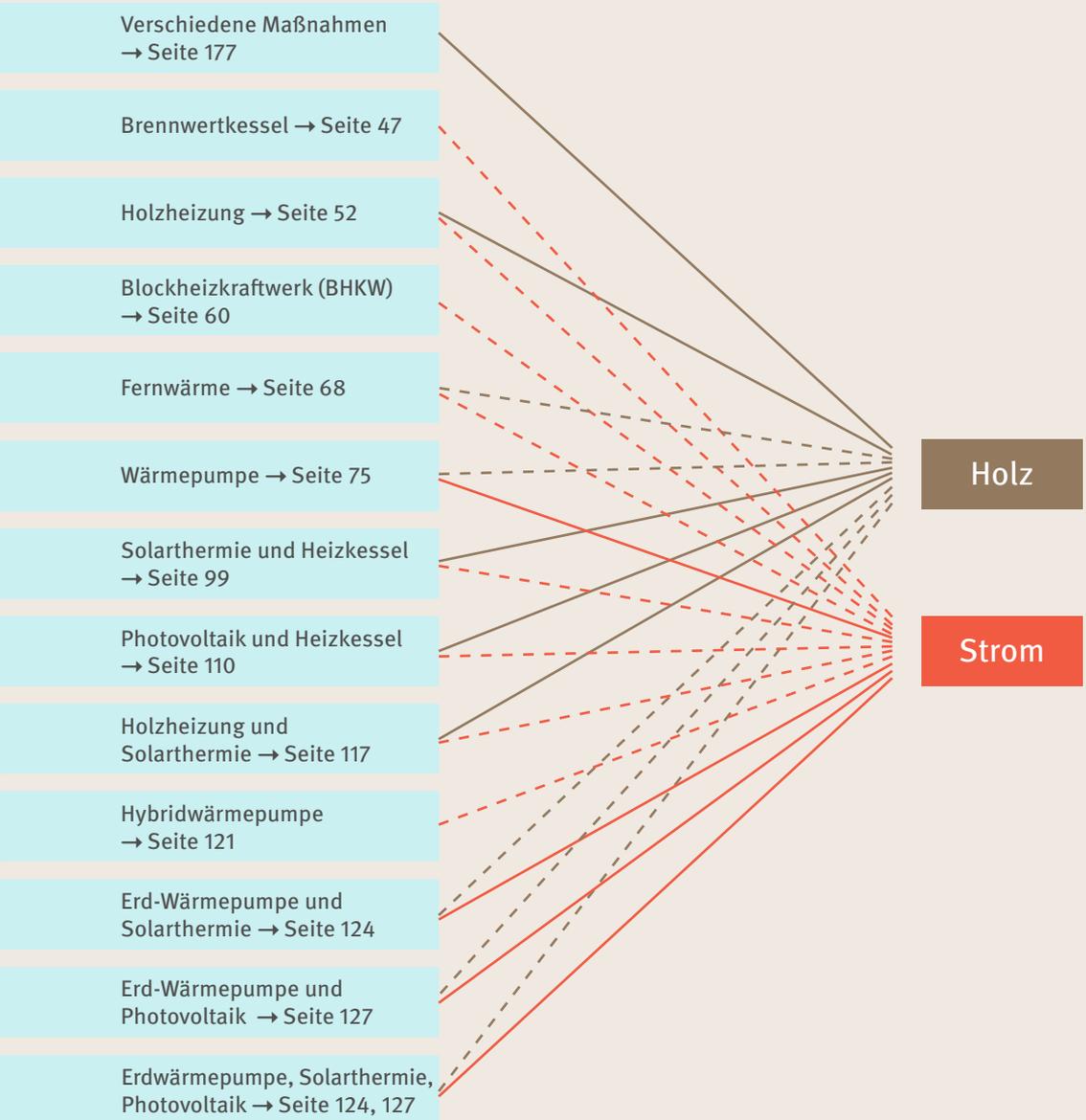
Erdwärmepumpe, Solarthermie  
und Photovoltaik → Seite 164

Effizienzhaus  
40\* als  
Grundlage  
für Neubau-  
förderung (→  
Seite 148, 172)

# Bestandsgebäude: Die passende Haustechnik finden, wenn Sie mit Öl, Gas, Holz oder Strom heizen



Gestrichelte Linie = der Energieträger wird gewechselt  
durchgezogene Linie = der Energieträger wird nicht gewechselt





# Klimawandel geht uns alle an

Die dramatischen Hurrikan-Meldungen 2017, die Dürre-Sommer 2018, 2019 und 2022 und die Hochwasser-Katastrophe 2021 verdeutlichen es: Klimaschutz ist dringend nötig. Hier erfahren Sie Grundlegendes zu den klimatischen Zusammenhängen, zum Gebäudeenergiegesetz und zum eigenen wirtschaftlichen Heizen.

**V**ermutlich heizen Sie wie die meisten Hausbesitzer in Deutschland mit Öl, Gas oder Strom. Dann nutzen Sie **fossile Energieträger**. Das sind Stoffe, die aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren im Verlauf von Jahrtausenden entstanden sind. Die Pflanzen haben von Sonnenlicht und die Tiere wiederum von Pflanzen oder anderen Tieren gelebt. Die von Ihnen jetzt genutzte Energie ist demnach „indirekt“ Sonnenenergie, die in sehr langen Zeiträumen angesammelt wurde. Werden fossile Energieträger (Öl, Gas) verbrannt oder wird elektrischer Strom im Kohlekraftwerk erzeugt, entsteht **Kohlendioxid** ( $\text{CO}_2$ ). Seit Beginn der Industrialisierung wird mehr Kohlendioxid freigesetzt, als es in den Pflanzen, insbesondere den Wäldern, aber auch in den Meeren gebunden wird. Dieser Überschuss führt dazu, dass der Kohlendioxidgehalt in

der Atmosphäre zunimmt (→ Abb.1). Seit 1958 wird auf dem hawaiianischen Vulkan Mauna Loa monatlich der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre gemessen.

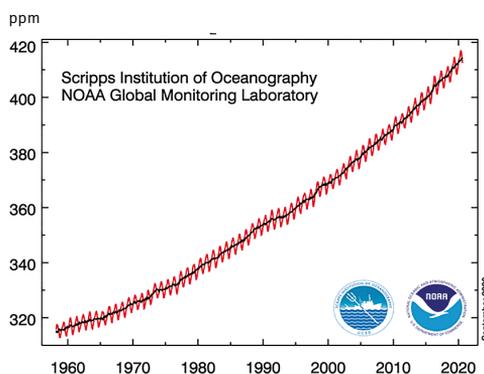


Abb. 1: Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre. Die Wellenbewegung entsteht durch die unterschiedlich starke Vegetation während der Jahreszeiten.



Abb.2: Prinzip des Treibhauseffekts.

Deutlich sichtbar ist in Abbildung 1, dass mittlerweile ein Wert oberhalb von 400 ppm erreicht worden ist.



#### HINTERGRUND

### ppm (parts per million)

Das ppm (parts per million) ist ein Maß für das Mischungsverhältnis, die Konzentration, hier von  $\text{CO}_2$  in Luft. Wie das Prozent ein Hundertstel bedeutet und das Promille ein Tausendstel, ist das ppm ein Millionstel. 400 ppm wären also ein Verhältnis von 0,04 Prozent  $\text{CO}_2$  in Luft. Noch in den 1960er Jahren lag dieser Wert unter 320 ppm (0,032 Prozent).

## Der Treibhauseffekt

In einem Treibhaus ergibt sich eine höhere Temperatur als außerhalb, weil das Glas die Sonnenstrahlen durchlässt. Sie erwärmen die

Luft. Diese Wärme kann nicht einfach so wieder durch das Glas nach draußen abziehen. Die Raumtemperatur steigt. Das ist der Treibhauseffekt.

In der Atmosphäre geschieht etwas Ähnliches (→ Abb.2): Die Sonnenlichtstrahlung durchdringt die Atmosphäre, trifft auf die Erde und erwärmt sie. Die Erde sendet diese Wärmestrahlung zurück ins All. Doch verschiedene Gase (auch Spurengase genannt, weil sie in kleiner Konzentration in der Luft vorkommen) wie Kohlendioxid, aber auch Methan, Stickoxide, Fluorkohlenwasserstoffe, Lachgas etc. übernehmen die Rolle des Treibhaus-Glases. Sie halten die Wärmestrahlung zurück. Darum werden diese Spurengase auch Treibhausgase genannt.

$\text{CO}_2$  ist das wichtigste Treibhausgas. Die Wirkung der anderen Treibhausgase wird in eine  $\text{CO}_2$ -Konzentration mit gleicher Wirkung umgerechnet ( $\text{CO}_2$ -Äquivalente). Je höher die Konzentration des  $\text{CO}_2$  und der Äquivalente, desto höher steigt die Durchschnittstemperatur durch den Treibhauseffekt.



## HINTERGRUND

## Drei Formen der Wärmeübertragung

Wärme wird von einem Körper mit höherer Temperatur auf einen mit niedrigerer Temperatur übertragen.

**Wärmeleitung** erfolgt durch feste Körper, die unterschiedliche Temperaturen aufweisen.

Beispiel: Sie stellen einen Kochtopf auf die eingeschaltete Herdplatte. Nach einiger Zeit ist der Topf innen heiß geworden. Gute Wärmeleiter sind vor allem Metalle. Schlechte Wärmeleiter sind Wärmedämmstoffe, die mit Gasen gefüllte Poren enthalten, etwa Mineralfasern oder ein dicker Schafwollpullover. Der schlechteste Wärmeleiter ist das Vakuum, der luftleere Raum. Eine Thermoskanne enthält einen doppelwandigen Glasbehälter, der luftleer ist: So bleibt der Kaffee länger heiß.

**Wärmeströmung** erfolgt in Flüssigkeiten und Gasen.

Beispiel: Warmes Wasser ist leichter als kaltes und steigt deswegen nach oben: Im Badewannenwasser ist es oben am wärmsten. Oder: Warme Luft strömt am Heizkörper nach oben und erwärmt so den Raum (Luftbewegung). Heizkörper, die besonders starke Luftbewegung hervorrufen, werden **Konvektoren** genannt, beispielsweise vor bodentiefen Fenstern in den Boden eingelassene Heizelemente mit einem Luftgitter darüber.

**Wärmestrahlung** benötigt keine Materie zum Transport. Sie kann auch im Vakuum passieren und breitet sich wie Licht geradlinig aus. Je heißer ein Körper ist, umso höher ist die Frequenz der ausgesandten Strahlung.

Beispiel: Ein Heizkörper in der Wohnung strahlt im Infraroten Bereich (→ Seite 45). Sie müssen ihn sehen können, um die Wärmestrahlung zu empfinden. Glühende Stoffe, beispielsweise eine Kerzenflamme oder die Sonne, strahlen neben der Wärme hauptsächlich sichtbares Licht ab, je heißer, desto weißer das Licht.

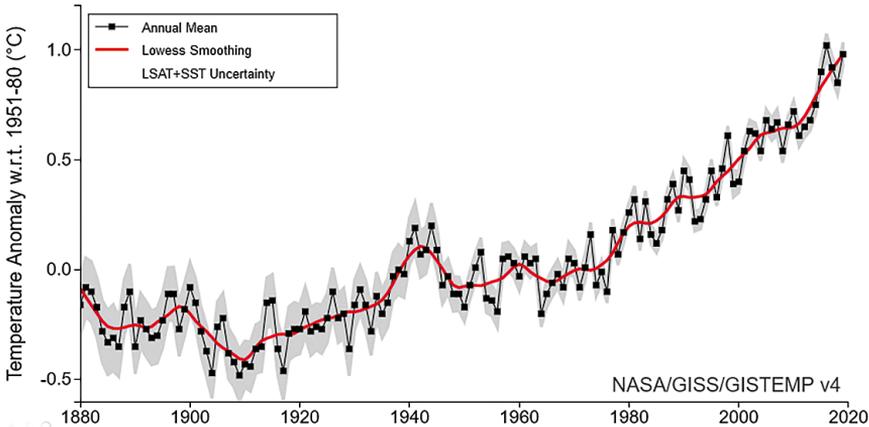


Abb. 3: Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur während des Industriezeitalters.

Es gab bereits in vorindustrieller Zeit Spurengase, insbesondere  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre. Das war ein **natürlicher Treibhauseffekt**, der ein angenehmes Leben auf der Erde erst ermöglichte. Ohne ihn hätten wir eine Welt-Jahresdurchschnittstemperatur von frostigen -18 Grad.

Wie Abbildung 3 zeigt, ändert sich die Welt-Durchschnittstemperatur bis 1920 nur wenig. Ab dann und erst recht seit 1980 steigt die Temperaturkurve um mittlerweile gut ein Grad. Das entspricht dem Anstieg des  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre (→ Abb. 1 Seite 19). Bis auf ganz wenige Klimaskeptiker gehen die Wissenschaftler davon aus, dass dieser **zusätzliche Treibhauseffekt** menschengemacht ist.

Das Klima ist ein sehr komplexes Geschehen. Sicher ist allerdings, dass durch die Spurengase beziehungsweise Treibhausgase

heute mehr Energie in der Atmosphäre gespeichert ist als früher. Und: Warme Luft kann mehr Wasserdampf enthalten als kalte. Die Auswirkungen sind aktueller denn je und weltweit zu spüren, beispielsweise die Zunahme von Stürmen und Hochwässern.

Im Klimageschehen gibt es sogenannte Kipp-Punkte, die unbedingt vermieden werden sollten. Wenn beispielsweise der Permafrostboden in Sibirien auftaut und dadurch weitere Treibhausgase freigesetzt werden, steigt die Temperatur. Es taut noch mehr Erdreich auf und noch mehr Treibhausgase werden freigesetzt: Ein weiterer Temperaturanstieg ist die Folge. Klimawissenschaftler stellen fest, dass erste Kipp-Punkte bereits aktiviert wurden. Spätestens bei einer weltweiten Erwärmung um zwei Grad werden weitere ausgelöst.

## Pariser Klimaschutz- abkommen

Es hat schon zahlreiche internationale Konferenzen zum Klimaschutz gegeben. Vor Paris fand die wichtigste 1997 in Kyoto statt – mit einem dort beschlossenen Protokoll. Darin verpflichteten sich ausgewählte Industrieländer, den Ausstoß (Emission) von Treibhausgasen zu begrenzen. Das Protokoll trat nach Ratifizierung durch zunächst 55 und später 192 Staaten im Jahr 2005 in Kraft. Weitere Konferenzen brachten keine erfolgversprechende Nachfolgeregelung zustande.

Ende 2015 fand in Paris die 21. UN-Klimakonferenz statt (kurz COP 21). Gleichzeitig gab es das 11. Treffen zum Kyoto-Protokoll (kurz CMP 11). Hauptziel dieser Konferenz war eine Nachfolge-Vereinbarung für das Kyoto-Protokoll.

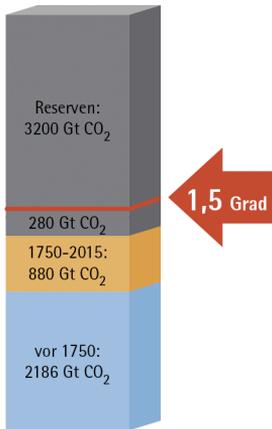
Die Konferenz in Paris war im Vorfeld gut vorbereitet und wurde von den französischen Gastgebern geschickt geleitet. So kam es zum **Übereinkommen von Paris**. Mittlerweile haben 195 Staaten das Abkommen unterzeichnet, das 2016 in Kraft getreten ist. Diese Staaten haben sich darauf verständigt, Maßnahmen zu ergreifen, um den Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 Grad, besser auf 1,5 Grad zu begrenzen. Sie geben dazu Selbstverpflichtungen ab. In regelmäßigen Abständen wird deren Einhaltung und die Einhaltung des 1,5- beziehungsweise maximal

2-Grad-Zieles überprüft. Gegebenenfalls werden weitere Maßnahmen ergriffen. Anders als im Kyoto-Protokoll gibt es nicht nur Emissionsgrenzen für Industrieländer, sondern eine Selbstverpflichtung für alle Länder, den Temperaturanstieg zu begrenzen. Im Abschlussbericht der Weltklimakonferenz von Glasgow im November 2011 haben die Staaten bekräftigt, das 1,5 Grad Ziel einhalten zu wollen und ihre Klimaschutzpläne bis 2022 nachzuschärfen.

## Paris und die Folgen

Es besteht also nachweislich ein Zusammenhang zwischen der Konzentration der Treibhausgase und dem Temperaturanstieg. Klimawissenschaftler haben berechnet, dass die Begrenzung auf 1,5 Grad Erwärmung eine Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf 420 ppm verlangt. Zusätzlich zum bereits in der Atmosphäre enthaltenen CO<sub>2</sub> dürfen dann vermutlich höchstens noch weitere 280 Gigatonnen CO<sub>2</sub> hinzukommen, um auf der sicheren Seite zu sein. Für das 2-Grad-Ziel wären noch knapp 600 Gigatonnen CO<sub>2</sub> erlaubt. Das klingt zunächst nach sehr viel. Jedoch steigt allein durch Verbrennungsprozesse die CO<sub>2</sub>-Menge in der Atmosphäre jährlich um 32 Gigatonnen. Die höchstmöglichen 280 Gigatonnen wären in weniger als zehn Jahren erschöpft und das maximale 2-Grad-

**Der Kohlenstoffhaushalt**  
CO<sub>2</sub> vor, während und nach  
der Industrialisierung



**Kohlenstoffvorkommen**  
Gesicherte Kohle-, Öl- und Gasvorkommen nach Quelle



**Die Kohlenstoffblase**  
Gesicherte Kohle-, Öl- und Gasreserven, die nicht verbrannt  
werden dürfen, um die Erwärmung nicht über +1,5 Grad  
steigen zu lassen (in Prozent)

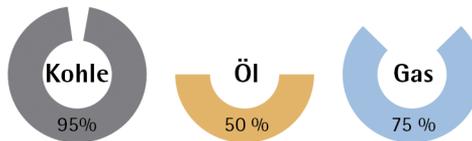


Abb. 4: Energiereserven müssen im Boden bleiben, um die Klimaziele zu erreichen.

Ziel würde eher als in 18 Jahren überschritten. Etwas genauer betrachtet: Jährlich werden insgesamt circa 40 Gigatonnen CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre geschleudert. Zwar gibt es erfreuliche Prozesse (Pflanzenwachstum, Aufnahme im Meerwasser), die CO<sub>2</sub> binden können. Dadurch werden pro Jahr circa 25 Gigatonnen CO<sub>2</sub> entfernt. Das reicht aber nicht – wie der Badewanneneffekt zeigt: Jede Wanne wird überlaufen, wenn weniger durch den Abfluss wegfießt als durch den Wasserhahn zuläuft.

Wenn die Beschlüsse von Paris ernst genommen werden, muss die Weltwirtschaft spätestens zur Mitte des Jahrhunderts vollständig kohlenstofffrei arbeiten und zu 100 Prozent mit erneuerbaren Energien versorgt werden.

**Zwischenfazit:** Es gibt kein Problem mit versiegenden Rohstoffquellen. Vielmehr muss ein Großteil der bekannten fossilen Rohstoffe – Kohle, Öl und Gas – in der Erde bleiben (→ Abb. 4).

Oben in der Abbildung 4 sehen Sie, welche Kohlendioxidmengen bis 2015 abgegeben wurden, was noch fehlt, um die 1,5 Grad einzuhalten, und welche weitere Menge in allen bekannten Reserven zusammen dann noch enthalten ist. Diese 3.200 Gigatonnen CO<sub>2</sub> dürfen nicht mehr freigesetzt werden. Die Abbildung zeigt rechts, dass es vor allem Kohlevorräte betrifft; rechts unten sind die Anteile der Energieträger dargestellt, die nicht mehr benutzt werden dürfen: Auch hier überwiegt die Kohle: Nur noch 5 Prozent der be-