

Thomas Wachinger

**Wärmeerzeuger im Einfamilienhaus -
Beurteilung bezüglich
Umweltfreundlichkeit und
Wirtschaftlichkeit**

Diplomarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Diplomarbeit
Thomas Wachinger

Wärmeerzeuger im Einfamilienhaus

–

Beurteilung bezüglich
Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit



Diplomarbeit

Wärmeerzeuger im Einfamilienhaus

–
Beurteilung bezüglich
Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit

Verfasser: Thomas Wachinger



Fachhochschule München
Munich University of Applied Sciences
Fachbereich 05 Versorgungstechnik

München, im September 2001

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Anfertigung dieser Diplomarbeit maßgeblich unterstützt haben. Besonders danken möchte ich meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Ziegler, der mir bei allen auftretenden Fragen stets hilfreich zur Seite stand.

Des weiteren bedanke ich mich bei der Buderus-Niederlassung München: Dem Niederlassungsleiter Herrn Vörtl für das Zustandekommen dieser Diplomarbeit, Herrn Lemberger für die technische Betreuung sowie Herrn Göhring für die Tipps, die er mir zur Loganova GWP geben konnte.

Bei der Entwicklungsabteilung von Buderus in Lollar gilt mein Dank besonders Herrn Kühn sowie Herrn Schwarz, die mir benötigte Informationen und Daten zukommen ließen.

Verfassererklärung

Gemäß § 31 VII der Rahmenprüfungsordnung (RaPo) erkläre ich hiermit, dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

München, den 15. September 2001

Thomas Wachinger

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	3
Verfassererklärung	4
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	8
1.1 Energieeinsparung – warum?	8
1.2 Energiesparende Wärmeerzeuger	11
2 Aufgabenstellung	12
3 Untersuchte Wärmeerzeuger	14
3.1 Gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP	14
3.1.1 Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP)	15
3.1.2 Gas-Brennwertgerät	18
3.1.3 Kombigerät Loganova GWP	19
3.1.3.1 Aufbau und Funktionsweise	19
3.1.3.2 Planung	22
3.1.3.3 Feldtest	26
3.2 Öl-Niedertemperatur-Heizkessel	29
3.2.1 Aufbau und Funktionsweise	30
3.2.2 Planung	32
3.3 Gas-Brennwertkessel	33
3.3.1 Aufbau und Funktionsweise	34
3.3.2 Planung	36
3.4 Holzpellets-Kessel	38
3.4.1 Holzpellets	38
3.4.2 Aufbau und Funktionsweise	40
3.4.3 Planung	42
3.5 Elektro-Wärmepumpe	44
3.5.1 Aufbau und Funktionsweise	44
3.5.2 Planung	45

4	Untersuchte Gebäudetypen	49
4.1	Jahres-Nutzenergiebedarf	54
4.2	Bestehendes Gebäude	57
4.3	Neubau gemäß EnEV	57
4.4	Ultra-Niedrigenergiehaus	59
4.5	Ergebnisse	60
5	Primärenergiebedarf	63
5.1	Primärenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung	64
5.2	Primärenergiebedarf für die Lüftungsanlage	68
5.3	Primärenergiebedarf für die Heizung	69
5.4	Bewertung	72
5.5	Ergebnisse	73
6	Schadstoffemissionen	78
6.1	CO ₂ -Äquivalent	78
6.2	SO ₂ -Äquivalent	79
6.3	O ₃ -Vorläufer-Äquivalent	79
6.4	GEMIS	80
6.5	Ergebnisse	82
7	Wirtschaftlichkeit	86
7.1	Kapitalwertmethode	86
7.2	Randbedingungen	87
7.2.1	Szenario	87
7.2.2	Investitionskosten	88
7.2.3	Energiepreise	91
7.2.4	Betriebskosten	93
7.3	Ergebnisse	94

8	Schlussbetrachtung	96
8.1	Qualität der Ergebnisse	96
8.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	97
8.3	Ausblick	99
9	Verzeichnisse	100
9.1	Gedruckte Literatur	100
9.2	Websites	101
9.3	Abbildungen, Tabellen und Gleichungen	102
9.4	Formelzeichen	105
10	Anhang	107
10.1	Lageplan, Ansichten	107
10.2	Jahres-Heizwärmebedarf	110
10.2.1	Bestehendes Gebäude	110
10.2.2	Neubau gemäß EnEV	115
10.2.3	Ultra-Niedrigenergiehaus	120
10.3	Primärenergieverbrauch	125
10.3.1	Bestehendes Gebäude	125
10.3.2	Neubau gemäß EnEV	144
10.3.3	Ultra-Niedrigenergiehaus	168
10.3.4	Übersicht berechnete Energiemengen	192
10.4	Wirtschaftlichkeit	194

1 Einleitung

1.1 Energieeinsparung – warum?

Noch bis zum Ende des 18. Jahrhunderts deckte man den Großteil des Energiebedarfes an Wärme mit Brennholz, man nutzte Wasser- und Windkraft z. B. mit Hilfe von Mühlen. Mit dem Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert begann die Menschheit, die fossilen Energieressourcen der Erde im verstärktem Maße auszubeuten, was einer der Gründe für die rasante technische Entwicklung und dem damit verbundenen heutigen Wohlstand ist. Energie aus fossilen Energieträgern ist relativ preiswert, einfach zu transportieren, in ausreichendem Maße verfügbar und sehr gut dosierbar. Heute wird mehr als 90% des Primärenergieverbrauchs durch fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas gedeckt.

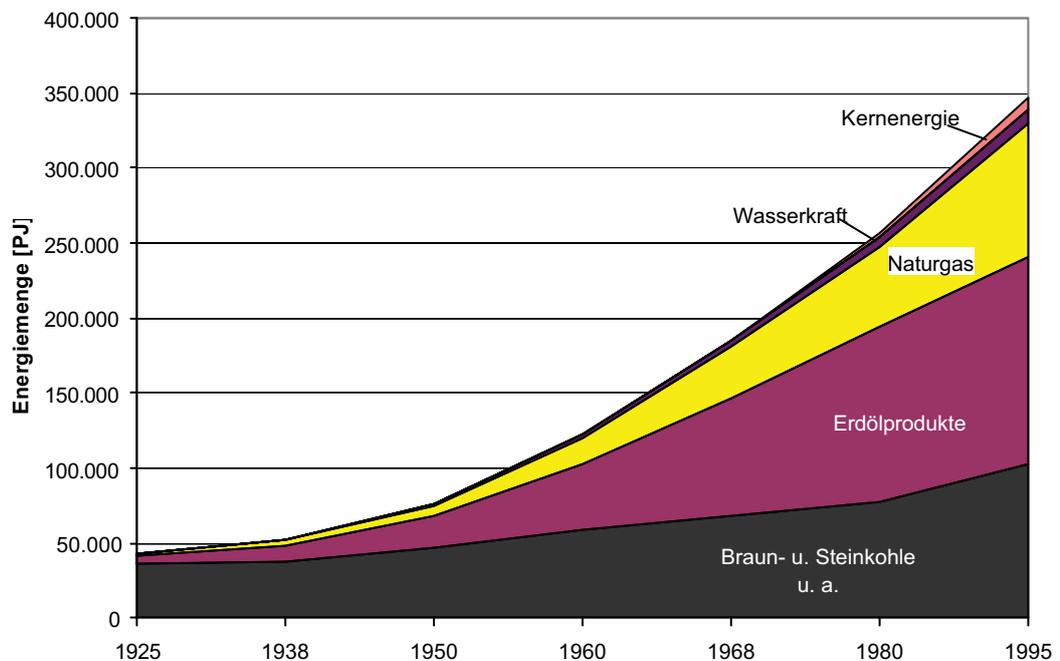


Abbildung 1.1–A: Entwicklung des Welt-Primärenergieverbrauchs wichtiger Energieträger (nach Regenerative Energiesysteme, Tabelle 1.4)

Diese Entwicklung hat aber eine Kehrseite: Bei der Verbrennung fossiler Energieträger wird in wenigen Jahrzehnten das Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt, das in Jahrmillionen durch Pflanzen der Atmosphäre entzogen wurde. Der rapide Anstieg des CO₂-Gehaltes und anderer Gase wie Methan (CH₄) oder Distickoxid bzw. Lachgas (N₂O) führt zum Treibhauseffekt und seinen Folgen: Kurzwellige Sonnenstrahlung vermag relativ ungehindert die Atmosphäre zu durchdringen. Dadurch erwärmt sie die Oberfläche, die ihrerseits langwellige Wärmestrahlung abgibt. Die Treibhausgase in der Atmosphäre reflektieren bzw. absorbieren diese langwellige Strahlung. Steigt nun der Anteil der Treibhausgase in der Atmosphäre, so wird auch mehr langwellige Strahlung reflektiert bzw. absorbiert, was zur „Globalen Erwärmung“ führt: Intensität und Stärke von Unwettern, Stürmen und Überschwemmungen nehmen zu, Steppen und Wüsten breiten sich aus, die Polkappen schmelzen, damit steigt der Meeresspiegel und weite Küstenregionen werden für immer von der Landkarte verschwinden.

Weiterhin entstehen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe giftige Schadstoffe, die Mensch und Umwelt belasten. Der „saure Regen“, der dadurch verursacht wird, führt zum bekannten Waldsterben. Auch der sogenannte „Sommersmog“ – eine überhöhte Ozonbelastung – wird durch giftige Abgase verursacht.

Ein Aspekt, der ein Umdenken in dieser und den kommenden Generationen zwingend erforderlich macht, ist die Endlichkeit der fossilen Energieressourcen. Erdöl- und Erdgasvorkommen werden wahrscheinlich noch in diesem Jahrhundert vollständig aufgebraucht, nur Kohle steht noch länger zur Verfügung. Eine Ermittlung der tatsächlich vorhandenen fossilen Ressourcen ist nur schwer möglich, da nur das, was bereits entdeckt wurde, erfasst werden kann; daher können die Vorräte, die in Zukunft gefunden werden, nur geschätzt werden. Doch selbst wenn noch größere Lagerstätten entdeckt werden sollten, so ändert dies nichts an der Endlichkeit der fossilen Energieträger.

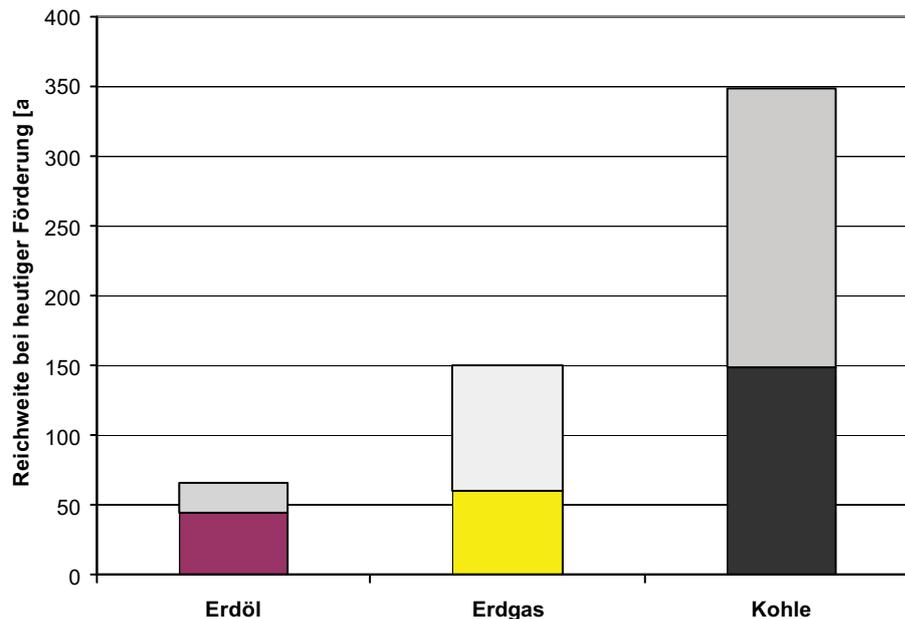


Abbildung 1.1–B: Reichweite fossiler Energieträger bei heutiger Förderung
[unten: sicher gewinnbare Reserven; oben: wahrscheinlich zusätzlich gewinnbare Reserven] (nach Daten des BAFA)

In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Notwendigkeit der Einsparung fossiler Energieträger erkannt. 1976 wurde das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) verabschiedet, das die Grundlage für die Wärmeschutzverordnungen (WSchV) von 1978, 1984 und 1995 sowie für die Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnIV) bildet. Darin werden energetische Mindeststandards für Gebäude (in den Wärmeschutzverordnungen) und für Heizungsanlagen (in der Heizungsanlagen-Verordnung) gesetzlich vorgeschrieben. Diese beiden Verordnungen sollen 2002 von der Energieeinsparverordnung abgelöst werden. Neu dabei ist, nicht mehr das Gebäude und die Heizungsanlage separat zu betrachten, sondern als eine Einheit. Es werden nicht mehr der Heizwärmebedarf des Gebäudes bzw. die Verluste des Heizsystems begrenzt, sondern der Primärenergieverbrauch des Gesamtsystems.

1.2 Energiesparende Wärmeerzeuger

Der energetische Standard der Heizungsanlage hängt stark vom Wärmeerzeuger ab. Zum einen davon, ob er mit fossilen oder regenerativen Energieträgern versorgt wird, zum anderen, welchen Jahres-Nutzungsgrad er erreicht. Der Jahres-Nutzungsgrad ist das Verhältnis der in einem Jahr im Wärmeerzeuger auf den Wärmeträger übertragenen Wärmemenge zu der im Brennstoff zugeführten Energie, bezogen auf den Heizwert (vgl. Projektierung von Warmwasserheizungen, S. 396). Von 1960 bis heute konnten die Norm-Nutzungsgrade von knapp 70% bis auf 109% bei Gas-Brennwertkesseln gesteigert werden (siehe Abbildung unten). Durch die zusätzliche Nutzung von Umweltwärme sind weitere Steigerungen möglich. So beabsichtigt die Buderus Heiztechnik GmbH für 2002 ein Kombigerät aus einem Gas-Brennwertkessel und einer Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe auf den Markt zu bringen, das Norm-Nutzungsgrade von 130% und mehr erreichen kann. Damit wird ein Beitrag zur Einsparung fossiler Energieträger geleistet.

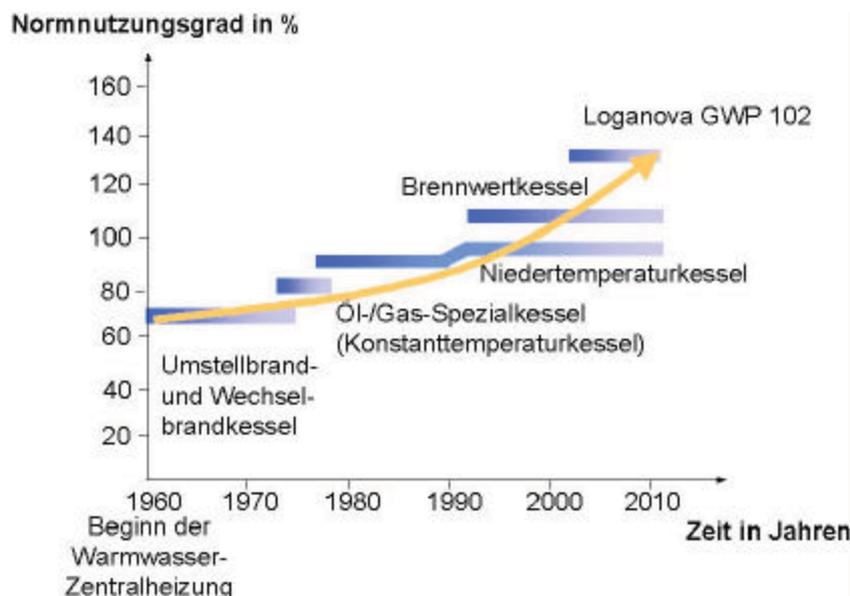


Abbildung 1.2–A: Historische Entwicklung des Norm-Nutzungsgrades (Buderus)

2 Aufgabenstellung

Die wichtigste Aufgabe des Wärmereizers im Einfamilienwohnhaus ist - wie der Name schon sagt - die „Erzeugung“ bzw. Bereitstellung der Wärme, die im Gebäude benötigt wird. An einen modernen Wärmereizer werden jedoch weit mehr Anforderungen gestellt: Faktoren, wie Funktionssicherheit, Geräuschemissionen, Wartungs- und Bedienungsfreundlichkeit, Lebensdauer, Platzbedarf und Design spielen bei der Kaufentscheidung eine wichtige Rolle. Ferner wird immer mehr Wert auf Umweltfreundlichkeit gelegt, d. h. der Primärenergieverbrauch sowie die Schadstoffemissionen sollen möglichst gering sein. Selbst wenn ein Wärmereizer einem Großteil dieser Anforderungen gerecht wird, steht am Ende immer die wichtige Frage nach den Kosten bzw. nach der Wirtschaftlichkeit. Der umweltfreundlichste und optisch ansprechendste Wärmereizer ist am Markt schwer durchzusetzen, wenn er ein Vielfaches eines herkömmlichen Wärmereizers kostet. Aber nicht nur die Anschaffungskosten, auch die Folgekosten müssen bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Die beiden zuletzt genannten Kriterien bezüglich der Kaufentscheidung - Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit - sollen in dieser Diplomarbeit näher untersucht werden.

Die Buderus Heiztechnik GmbH wird 2002 eine Innovation auf den Markt bringen: Die „Gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP 102“. Hierbei handelt es sich um ein Kombigerät aus einer Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) und einem Gas-Brennwertkessel. Dieser neuartige Wärmereizer soll im Rahmen dieser Diplomarbeit mit folgenden Wärmereizern verglichen werden:

- Öl-Niedertemperaturkessel
- Gas-Brennwertkessel
- Holzpellets-Kessel
- Elektro-Wärmepumpe

Es soll eine Beurteilung nach folgenden Kriterien durchgeführt werden:

- Primärenergiebedarf (Kapitel 5)
- Schadstoffemissionen (Kapitel 6)
- Wirtschaftlichkeit (Kapitel 7)

Hierfür werden zur Veranschaulichung konkrete Beispiele von Einfamilienhäusern herangezogen. Ein allgemein gültiger Vergleich der Wärmeerzeuger für jedes denkbare Gebäude ist nicht möglich, da in jedem Gebäude individuelle Anforderungen an den Wärmeerzeuger gestellt werden, was unterschiedliche Bewertungsergebnisse zur Folge hat. Die Aussagen dieser Diplomarbeit treffen daher nur auf die konkret gewählten Beispiele zu. Allerdings wurde versucht, gängige und sinnvoll abgestufte Beispiele zu finden, so dass anhand der Aussagen eine klare Tendenz erkennbar sein wird:

- Bestehendes Einfamilienwohnhaus, das gemäß der Wärmeschutzverordnung 1984 errichtet wurde und bei dem die Heizzentrale saniert werden soll
- Neubau eines Einfamilienwohnhauses, das die Anforderungen des Referentenentwurfs der Energieeinsparverordnung (EnEV) erfüllt
- Neubau eines Einfamilienwohnhauses, das als Ultra-Niedrigenergiehaus (3-Liter-Haus) ausgeführt wird

3 Untersuchte Wärmeerzeuger

Im Folgenden sollen die untersuchten Wärmeerzeuger - vor allem natürlich die gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP - beschrieben werden. Die Beschreibungen beschränken sich auf die Punkte, die für diese Diplomarbeit relevant sind.

3.1 Gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP 102



Abbildung 3.1–A: Gasbetriebenen Wärmepumpe Loganova GWP 102 (Buderus)

Bei der gasbetriebenen Wärmepumpe Loganova GWP 102 der Buderus Heiztechnik GmbH, die 2002 auf den Markt kommen wird, handelt es sich um ein Kombigerät aus zwei Wärmeerzeugern: Der Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) zur Grundlastabdeckung für die Heizung und einem Gas-Brennwertkessel als Spitzenlastkessel und zur Warmwasserbereitung.

3.1.1 Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP)

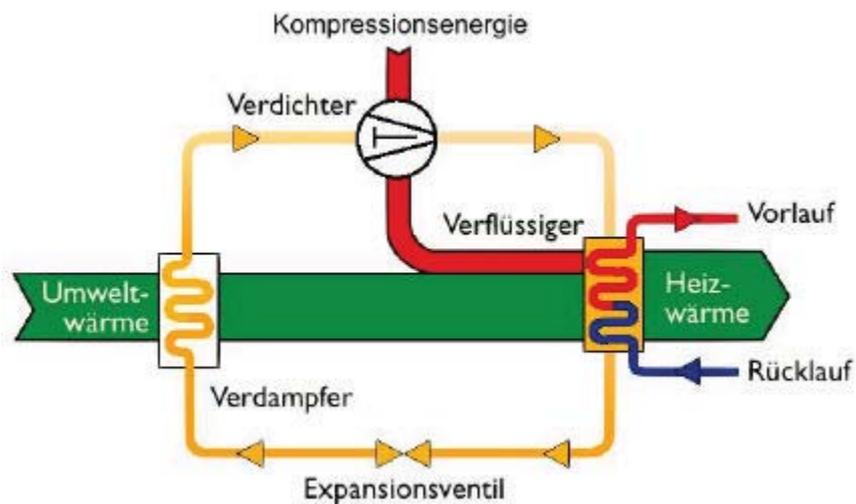


Abbildung 3.1–B: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (Stiebel-Eltron)

Wärmepumpen wandeln Wärme niedriger Temperatur in Wärme hoher Temperatur um (das Temperaturniveau wird „hochgepumpt“). Dies geschieht in einem geschlossenen Kreisprozess durch ständiges Ändern des Aggregatzustandes des Arbeitsmittels (Verdampfen, Komprimieren, Verflüssigen, Expandieren). In dem geschlossenen Kreislauf zirkuliert das Kältemittel, das im Verdampfer der Umwelt (aus Erde, Wasser oder Luft) einen kleinen Teil der darin gespeicherten Sonnenwärme - durch Änderung des Aggregatzustandes von flüssig auf gasförmig - entzieht. Das nunmehr gasförmige Kältemittel wird anschließend im Verdichter komprimiert und somit erhitzt. Von dort gelangt es in den Verflüssiger, wo das Kältemittel die aufgenommene Umweltwärme sowie die Antriebsenergie an das Heizsystem

abgibt und dabei wieder flüssig wird. Nachdem es im Expansionsventil wieder auf das ursprüngliche Druckniveau gebracht wurde und dabei abgekühlt ist, kann der Kreislauf von neuem beginnen.

Man unterscheidet Wärmepumpen nach der Art des Verdichters. Weit verbreitet sind Wärmepumpen mit einem elektrisch angetriebenen Verdichter, der das Kältemittel mechanisch komprimiert. Die gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP 102 funktioniert mit einem Diffusions-Absorptions-Verdichter.

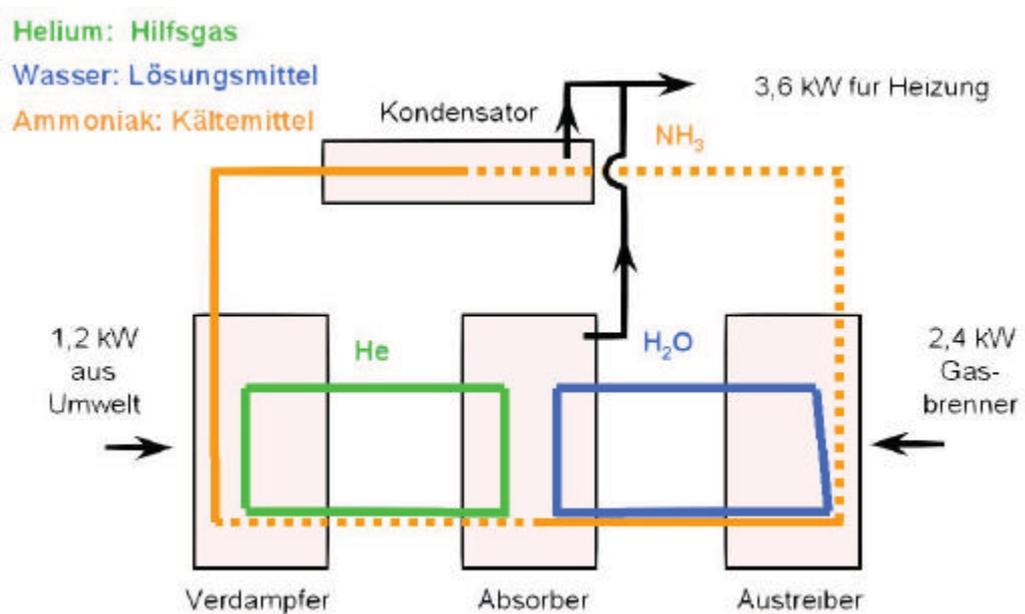


Abbildung 3.1-C: Funktionsprinzip der DAWP (Buderus)

Die nachfolgende Beschreibung des thermodynamischen Kreisprozesses der DAWP beruht auf Unterlagen der Buderus Heiztechnik GmbH:

Der thermodynamische Kreisprozess

Die DAWP arbeitet mit dem Kältemittel Ammoniak (NH₃), dem Lösungsmittel Wasser (H₂O) und benötigt außerdem Helium (He) als Hilfsgas. Für den

Kreisprozess werden weder Pumpen noch Ventile benötigt. Er läuft bei einem Druck von etwa 23 bar ab und setzt sich bei Wärmezufuhr im Austreiber selbständig durch Temperatur- und Konzentrationsunterschiede in Bewegung.

1) Verdampfer:

Da sich im Verdampfer das gasförmige Helium befindet, besitzt hier das Kältemittel Ammoniak einen niedrigen Partialdruck. In der Helium-Ammoniak-Atmosphäre verdunstet das Ammoniak. Die für den Phasenwechsel benötigte Wärme wird einer Wärmequelle, d. h. der Umwelt, entzogen. Der Verdunstungsvorgang funktioniert bis zu einer Temperatur von -25 °C . Nach dem Schwerkraftprinzip strömt das Ammoniakdampf-Helium-Gemisch zum Absorber.

2) Absorber:

Anschließend wird das gasförmige Ammoniak im Absorber vom Lösungsmittel Wasser absorbiert. Er geht dabei wieder von der gasförmigen in die flüssige Phase über und gibt die vorher im Verdampfer aufgenommene latente Wärme an das Heizsystem ab. Durch natürlichen Auftrieb gelangt die ammoniakreiche Lösung in den Austreiber. Das Heliumgas strömt zurück in den Verdampfer.

3) Austreiber:

Der Siedepunkt des Ammoniaks liegt unter dem des Wassers. Dadurch kann im Austreiber durch Wärmezufuhr des Gasbrenners das Ammoniak verdampft werden, während das Wasser flüssig bleibt. Die ammoniakarme Lösung strömt zurück in den Absorber, der Ammoniakdampf gelangt in den Kondensator.

4) Kondensator:

Im Kondensator gibt das gasförmige Ammoniak seine latente Wärme an das Heizsystem ab. Das verflüssigte Ammoniak strömt zum Verdampfer, wo der Kreisprozess von neuem beginnt.

Die Entwicklung der Prinzips der DAWP geht auf den schweizer Ingenieur Dr. Hans Stierling zurück. Die Technologie des thermodynamischen Prozesses ist seit Jahrzehnten bekannt und wurde bereits millionenfach in Kühlschränken (gasbetriebene Camping- / Hotelkühlschränke) eingesetzt. Im Jahre 1996 hat die Buderus Heiztechnik GmbH das Patent der DAWP erworben und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt.

3.1.2 Gas-Brennwertgerät

Zur Deckung der Spitzenlast ist in der gasbetriebenen Wärmepumpe Loganova GWP ein Gas-Brennwertgerät integriert, das auf der Technik des Logamax plus der Buderus Heiztechnik GmbH beruht. Das Gerät schaltet sich bei hoher Heizungsanforderung bzw. bei Brauchwasseranforderung dazu. Die Warmwasserbereitung übernimmt der Gas-Brennwertkessel monovalent. Die DAWP verfügt nur über eine Heizleistung von 3,6 kW, womit sich nur ein ungenügender Komfort für die Warmwasserbereitung realisieren lässt. Außerdem hat sich gezeigt hat, dass die Leistungsziffer der DAWP dabei relativ schlecht wird. Daraus ergibt sich jedoch auch ein Vorteil: Während der Warmwasserbereitung muss der Heizungsbetrieb nicht vollständig unterbrochen werden, er kann parallel zur Warmwasserbereitung von der DAWP weitergeführt werden. Es ist somit mit geringen bis gar keinen Komforteinbußen zu rechnen.

Ein ausführliche Beschreibung der Funktionsweise des Gas-Brennwertgerätes findet man in Kapitel 3.3.

3.1.3 Kombigerät Loganova GWP

Die nachfolgenden Ausführungen beruhen auf Angaben der Buderus Heiztechnik GmbH.

3.1.3.1 Aufbau und Funktionsweise

Die gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP wird in zwei Gerätegrößen lieferbar sein: Mit einer maximalen Heizleistung von 11 und 19 kW. Die DAWP besitzt in beiden Fällen eine Heizleistung von 3,6 kW. Die DAWP und der Gas-Brennwertkessel sind hydraulisch parallel geschaltet. Sowohl die DAWP als auch der Gas-Brennwertkessel besitzen einen eigenen Brenner mit Glühzünder und Flammenüberwachung, eine eigene leistungsabhängig geregelte Umwälzpumpe, die gegeneinander durch Rückschlagklappen hydraulisch abgesichert sind, und einen eigenen Kondensatablauf. Da die DAWP zur Aufrechterhaltung des Kreisprozesses eine konstante Wärmezufuhr benötigt, ist der Brenner der DAWP einstufig. Hingegen kann der Brenner des Gas-Brennwertgerätes bis auf 48% in der Geräteausführung mit 11 kW bzw. bis auf 50% in der Ausführung mit 19 kW modulieren. Die Verbrennungsluft gelangt über den Ringspalt im konzentrischen Luft-Abgas-System in das Gerät. In der Zufuhr des zündfähigen Brennstoff-Luftgemisches vor den beiden Brennstäben ist jeweils eine Rückschlagklappe angebracht, um ein gegenseitiges Beeinflussen der beiden Brenner zu verhindern. Das Abgas wird über je einen Kondensat-Wärmetauscher geleitet, in dem die latente Wärme des Abgases dem Heizungsrücklauf zugeführt wird (Brennwertnutzung). In der Regel wird das Gerät raumluftunabhängig betrieben. Dann wird die Verbrennungsluft über den Ringspalt des konzentrischen Luft-Abgas-Systems angesaugt, während das Abgas im innenliegenden Rohr strömt. Das restliche Gehäuse ist nahezu luftdicht ausgeführt.