ETH Zürich
Departement Umweltwissenschaften
Bachelorstudiengang Umweltnaturwissenschaften

BACHELORARBEIT

Gefahr durch Alternativenergie?

Risikoabschätzung für Einsatzkräfte der Feuerwehr

Autor: Nicole J. Seitz
Michael-Maggi-Strasse 22
8046 Zürich

Kontakt: www.kp-limmattal.ch/kontaktformular.php?id=Seitz

Datum 15. Januar 2011

Betreuungsperson: Beat Jud, Forst-Ing. ETH, Stabsoffizier Feuerwehr und Rettungsdienst, Schutz und Rettung Zürich

Fachberater: Dr. Christian Pohl, D-UWIS, ETH Zürich

Zusammenfassung

Alternative Energieträger spielen aufgrund der Klimaneutralität oder des massiv geringeren Ausstosses von Kohlendioxid eine immer wichtigere Rolle. Die Energiewende, welche allgemein als unumgänglich angesehen wird, bringt solche Energieträger in immer grösserer Verbreitung zum Einsatz. Die Anlagen arbeiten mit Technologien, deren Funktionsweise nicht auf den ersten Blick ersichtlich ist. Das Verständnis für diese Technologien und deren Gefahren ist bei vielen Feuerwehren wenig ausgeprägt, obwohl es kaum noch Feuerwehren geben dürfte, in deren Einsatzgebiet keinerlei Anlagen stehen, die auf Energie aus Sonnenstrahlung, Biomasse oder auf Wärme aus der Tiefe zugreifen.

Die Gefahren wurden lange Zeit nicht thematisiert, sind doch Photovoltaikanlagen beispielsweise schon seit Jahrzehnten technisch machbar. Dass sie sich aber auf breiter Front durchsetzen, ist ein relativ neues Phänomen.

Foto: Erich Iseli / Wikipedia

Abb. 1: Fahrzeuge mit alternativen Antriebsarten werden auf den Strassen immer mehr zur Normalität. Auch Feuerwehren müssen lernen, mit dieser Tatsache umzugehen.

Nicht nur Photovoltaik stellt für die Feuerwehren eine enorme Herausforderung dar, auch Biogasanlagen, Fahrzeuge mit Alternativantrieb und selbst moderne Holzheizungen bringen Gefahren mit sich, die häufig nicht wahrnehmbar sind und gleichzeitig lebensgefährlich werden können. Dass hier also Aufklärungsarbeit geleistet werden muss, um Gefahren zu identifizieren und zu benennen, ist klar. In einer Biogasanlage muss mit unterschiedlichen Giftgasen gerechnet werden, genauso wie in einem grösseren Pellets-Silo einer modernen Holzheizung. Auch erstickende Gase, allen voran Kohlendioxid, kommen vor.

Hybridfahrzeuge, sparsam und umweltfreundlich, speichern Strom, der aus Bremsenergierückgewinnung und von einem Generator stammt. Dabei entstehen hohe Voltwerte in Gleich- und Wechselstrom mit gleichzeitig extrem hohen Ampèrezahlen. Dass bei einem beschädigten Fahrzeug eine Gefahr für herbeieilende Retter bestehen kann, ist gut vorstellbar. Auch wenn die eigene Sicherheit oberste Maxime im Rettungswesen ist, muss im Fall von verletzten Personen gehandelt werden. Es braucht einfache Rezepte, die eingängig sind, nicht zu kompliziert und auch in Stresssituationen anwendbar. Um einfache Rezepte zusammenstellen zu können, muss versucht werden, die Gefahren möglichst abschliessend zu klären, am besten in einer Form, wo eine Übersicht über die Alternativenergieträger gewonnen wird, und die Gefahren analysiert und quantifiziert werden.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, am Beispiel heute eingesetzter Alternativtechno-

logien die Gefahren aufzuzeigen und für die Gefahrenerkennung und -vermeidung möglichst einfache Rezepte in Form von Merkblättern und Checklisten zu geben. Diese Arbeit soll den Feuerwehren ein Werkzeug in die Hände geben, mit dessen Hilfe sie mögliche Gefährdungen erkennen können. Ohne sich selber in Gefahr zu bringen sollen sie den Umgang mit solchen Gefahren erlernen können. Gerade ganz neue Technologien, über die man wenig weiss, sollen Feuerwehroffizieren und interessierten Unteroffizieren und Soldaten näher gebracht werden. Eine Auseinandersetzung mit dem Thema ist der erste Schritt zu einem erfolgreichen Einsatz.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung....3
Abkürzungsverzeichnis....7
Danksagung....7
Einleitung....9
Methodisches Vorgehen....11
Photovoltaikanlagen....12
- Technischer Aufbau....12
- Elektrische Gefahren....12
- Empfehlungen der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg....14
- Kontrolliertes Abbrennenlassen von Gebäuden....15
- Mondlicht und Photovoltaikanlagen....15
- Absturzgefahr....16
- Giftige Gase....17
- Vorsicht vor heissen Splittern....17
- Brand eines energieautarken Wohncontainers am 2.4.2010 in Zürich....17

Solarthermie....19
- Flachbettkollektoren....19
- Vakuumröhrenkollektoren....20
- Vorgehen bei Kollektoren im gefährdeten Bereich....21
- Absturzgefahr....21

Holzenergie....22
- Pellets- und Holzschnitzelheizungen....22
- Allgemeine Gefahren im Zusammenhang mit Holzheizungen....24
- Biomassekraftwerke....24
- Biomassekraftwerk Fa. Richi in Weiningen (ZH)....25
- Vorgehen im Biomassekraftwerk....26

Biogas....28
- Das Kompogasverfahren....28
- Der Unfall von Rhadereistedt....29
- Elektrische Gefahren....30
- Gasspeicherung....30

Brennstoffzellen-BHKW....33
- Funktionsweise und Gefahren bei einem Brennstoffzellen-BHKW....33

Geothermie....34
- Oberflächennahe Geothermie....34
- Wärmepumpenanlagen im Betrieb....34
- Unfälle beim Bau von Anlagen zur Erdwärmenutzung....35
  - Erdgasaustritt mit Brand in Oftringen....35
  - Artesischer Brunnen in der Wiesbadener Innenstadt....35
- Wärmepumpen können brennbare Gase enthalten....36
- Tiefe Geothermie....36

Windenergie....38
- Aufbau von Windenergieanlagen....38

Alternativtreibstoffe für Motorfahrzeuge....40
- Hybridtechnologie....40
- Elektrofahrzeuge....42
- Gasfahrzeuge....44

Bioethanol....45
Biodiesel....46
Wasserstoffantrieb....46
Brennstoffzellen....47
Schlussfolgerungen....49
Literaturverzeichnis....51
Tabellenverzeichnis....54
Anhang....55

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternate Current (Wechselstrom)
AS	Atemschutz
BHKW	Blockheizkraftwerk (Wärme-Kraft-Kopplung)
BtL	Biomass to Liquid
CNG	Compressed Natural Gas
CtL	Coal to Liquid
DC	Direct Current (Gleichstrom)
ERI-Card	Emergency Response Intervention Cards
ETH	Eidgenössisch Technische Hochschule
GtL	Gas to Liquid
HDR	Hot Dry Rock
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LPG	Liquified Petroleum Gas
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
NGV	Natural Gas Vehicle (Erdgasfahrzeug)
NiMH	Nickel-Metallhydrid
ORC	Organic-Rankine-Cycle
ppm	Parts per Million, Konzentrationsangabe, gleichzusetzen mit ml/m^3
PV	Photovoltaik
RME	Rapsmethylester
SNCR	Selektive, nichtkatalytische Reduktion
WEA	Windenergieanlage

Danksagung

Um die Informationen für diese Arbeit zusammenzutragen, war ich auf die Mithilfe verschiedenster Firmen und Personen angewiesen, ich möchte meinen herzlichen Dank dafür insbesondere an folgende Personen und Organisationen richten:

– Johannes Dietschi, Zürich (Foto)

– Beat Jud, Feuerwehr Zürich (Fachliche Betreuung der Arbeit, Fotos)

– Markus Seitz, Gams SG (Fotos)

– Axpo Kompogas AG, M. Regez, Glattbrugg ZH (Betriebsführung Biogasanlage)

– Baugenossenschaft Zurlinden, Markus Jelk, Zürich (Betriebsführung Photovoltaikanlage und Grünschnitzelfeuerungsanlage)

– Heizplan AG, Peter Schibli, Gams SG (Fachliche Unterstützung, Fotos)

– Richi AG, Weiningen ZH (Betriebsführung Biomassekraftwerk)

Einleitung

Klimawandel und Umweltbeeinträchtigungen durch Emissionen von Verkehr, Heizung und Stromerzeugung werden zu einem immer akuteren Problem. Nicht erneuerbare Energieträger wie Öl, Erdgas, Uran und Kohle stehen zudem in begrenzter Menge zur Verfügung, was einen haushälterischen Umgang mit diesen Ressourcen je länger desto nötiger macht. Gerade Erdöl, welches auch als Ausgangssubstanz für die vielfältigen Anwendungen der petrochemischen Industrie dient, sollte möglichst effizient genutzt werden, um die Dauer, in welcher es zur Verfügung steht, verlängern zu können. Das Verbrennen dieser fossilen Energieträger ist eine äusserst schlechte Möglichkeit, denn eigentlich gibt es auf der Erde genügend Energie aus anderen Quellen. Gerade die Sonne verwöhnt uns mit Energie im Übermass, welche als Strahlung in verschiedenen Wellenlängen permanent auf die Erde eingestrahlt wird. In weniger als einer Stunde strahlt die Sonne soviel Energie auf die Erde ein, wie die Menschheit in einem ganzen Jahr verbraucht[1]. So gesehen müssten wir keine Energieprobleme haben, aber wir müssen lernen, die im Überfluss vorhandenen erneuerbaren Energieträger zu nutzen.

Foto: Genghiskhanviet / Wikipedia

Abb. 2: Die Fördermengen von Erdöl und Erdgas werden zukünftig sinken, Alternativen sind gefragt.

Die Nutzung von erneuerbaren Energien und Alternativtechnologien zur effizienteren Nutzung fossiler Energieträger ist teilweise weit fortgeschritten, befindet sich aber in anderen Bereichen nach wie vor in der Entwicklung. Der Zeitdruck, unter dem Grundlagenforscher und Ingenieure stehen, ist nicht zu unterschätzen, schnelle Marktreife ist häufig wichtiger als Überlegungen zur Sicherheit bei ungewollten Ereignissen. Viele dieser Technologien arbeiten mit hohen Energiedichten, indem Strom in Akkumulatoren eingespiesen wird, oder hochexplosive und leicht brennbare Substanzen in hoch verdichteter Form vorliegen. Als Beispiele zu nennen sind Wasserstoff oder Biogas, welche hoch verdichtet werden, oder Hybrid- und Elektrofahrzeuge, wo in Batterien hohe Energiedichten erreicht werden. Brenn- und Treibstoffe aus fossilen Quellen können genutzt werden, um neue Konzepte mit besserer CO_2-Bilanz oder geringerer Luftverschmutzung zu realisieren. In diese Kategorie gehören Erdgas und Autogas (Propan/Butan), welche in zunehmendem Masse als Fahrzeugtreibstoffe genutzt werden. Die Hybridtechnologie kann auf unterschiedlichen Treibstoffen aufbauen, Hybridserienfahrzeuge werden aktuell ausschliesslich mit Benzin betrieben.

Autogas, also Propan/Butan, wird durch die zunehmende Verbreitung als Treibstoff in grösseren Mengen wie noch vor ein paar Jahren umgeschlagen. Entsprechend erhöht sich auch das Risiko, welches von den notwendigen Transporten ausgeht. Das Unglück im italienischen Viareggio[2] hat in beängstigender Weise aufgezeigt, dass der stark

1 Beppler Dirk (2007)
2 Rüsi Clara (2009)

zunehmende Verbrauch von Autogas in Italien ein nicht zu vernachlässigendes Sicherheitsrisiko darstellt. Auch wenn Unfälle mit Flüssiggastransporten kein neues Phänomen sind - im Jahr 1978 ereignete sich im spanischen Los Alfaques ein schlimmes Unglück mit einem LKW, der Propen transportierte[3] - so erhöhen grössere Mengen die verschoben werden, immer auch die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses.

Feuerwehren sehen sich bei jedem Ereignis, welcher Art auch immer, diversen Gefahren und Risiken gegenüber. Einige davon sind bekannt, der Umgang damit konnte erlernt werden. Andere Risiken sind neu, neue Technologien und Verfahren, neue Anwendungen und Maschinen, nutzen Energien, die bisher nicht ausgebeutet wurden. Durch Mikroorganismen oder chemische Reaktionen entstehen dabei Giftstoffe. Andernorts führen Rohre und Kabel aufs Dach, Sonnenenergie wird genutzt. Und das neue Auto eines umweltbewussten Nachbarn hat eine grosse Batterie unter der Rücksitzbank, wo Strom eingespiesen wird, und bei Bedarf ein Elektromotor angetrieben werden kann. Das Gemeinsame all dieser Technologien ist, dass sie komplex sind, dass es nicht so einfach ist, zu durchschauen, was genau passiert. Ein Holzofen in Grossmutters Wohnzimmer funktionierte nach einem enorm einfachen Prinzip: Holz wird verbrannt und gibt dabei Wärme ab. Heutige Anlagen zur Holzenergienutzung sind weitaus komplexer. Ein holzthermisches Kraftwerk, ein sogenanntes Biomassekraftwerk, verbrennt ebenfalls Holz und nutzt die darin enthaltene Energie. Und doch sind am Verbrennungsprozess, der Neutralisierung der Abwässer und der Rauchgaswäsche etwa ein Dutzend teils gefährliche Chemikalien beteiligt, und die ganze Anlage weist eine enorme Komplexität auf.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 3: Obwohl nur Holz verbrannt wird, ist ein modernes Biomassekraftwerk eine hochkomplexe Anlage. Im Bild ist die Rauchgaswäsche des Biomassekraftwerks Weiningen (ZH) zu sehen. Allein diese Prozessstufe arbeitet mit verschiedensten Chemikalien und besitzt eine nicht zu unterschätzende Komplexität.

3 Macher Julia (2008)

Methodisches Vorgehen

Mittels Literaturstudium und aus eigenen Erfahrungen wurden Gefahren identifiziert und danach mit verschiedenen Methoden analysiert. Insbesondere wurde nach neuesten Erkenntnissen gesucht, wobei das Schwergewicht auf denjenigen Energieträgern lag, welche bereits heute verbreitet Anwendung finden oder deren Einführung kurz bevorsteht. Ein weiteres wichtiges Element bildete der Augenschein vor Ort, wobei eine Biogasanlage, ein Biomassekraftwerk, Photovoltaikanlagen, Solarthermieanlagen, Wärmepumpen, Holzheizungen und Fahrzeuge genauer unter die Lupe genommen wurden. Im Rahmen einer Exkursion im Bachelorstudium Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich bot sich bereits 2009 die Möglichkeit, das geothermische HDR-Verfahren an der mittlerweile definitiv eingestellten Probebohrung in Basel kennenzulernen.

Eine anschliessende Beurteilung der Gefahrenmomente, wenn immer möglich mit Fallbeispielen oder Versuchsanordnungen aus der Literatur und im Gespräch mit Einsatzleitern, die solche Ereignisse zu bewältigen hatten, rundete die Risikoanalyse ab. Dabei wurde das Hauptgewicht in der Analyse auf Gefahren gelegt, die im normalen Feuerwehralltag nicht im Vordergrund stehen, oder im Einsatzgeschehen leicht übersehen werden könnten.
Mittels Literaturwerten wurden die gefundenen Gefahren quantifiziert, wo mögliche Folgen nicht offensichtlich waren. Gerade elektrische Gefahren stellen eine Herausforderung dar, weil sie nicht wahrnehmbar sind, sondern abgeschätzt werden müssen. Die identifizierten und quantifizierten Risiken flossen dann in die Gestaltung mehrerer Merkblätter und eines kurzen Beurteilungsschemas für die jeweiligen Alternativenergieträger ein, wobei ein Augenmerk darauf gelegt wurde, dass die Unterlagen leicht lesbar sind, und auch unter Stress schnell und zügig die Gefahren für das entsprechende Ereignis aufzeigen. Empfohlene Massnahmen für die Feuerwehren sind ebenfalls in diese Unterlagen eingeflossen.

Photovoltaikanlagen

Technischer Aufbau

Photovoltaikanlagen werden einerseits im Inselbetrieb genutzt, aber auch zur Einspeisung von elektrischer Energie ins öffentliche Stromnetz. Unter Inselbetrieb versteht man die Stromerzeugung ohne Anbindung ans Stromnetz. Strom muss dabei in Batterien gespeichert werden. Dabei wird eine tiefe Spannung angestrebt, in der Regel 12 Volt, da so direkt handelsübliche Akkumulatoren aufgeladen werden können. Im Gegensatz dazu wird bei der Netzeinspeisung mittels eines Wechselrichters ein Wechselstrom erzeugt, welcher in derselben Spannung wie das Netz, in Mitteleuropa folglich 230 Volt je Phase, eingespiesen werden muss. Es bietet sich deshalb an, einzelne Solarmodule in Serie zu schalten, womit Gleichspannungen bis 1000 Volt erreicht werden können[4]. Bei sehr grossen Anlagen werden die Module zusätzlich noch in einzelne Strings - das sind parallele Stränge einzelner Module - unterteilt. Diese werden jeweils auf eigene Wechselrichter geführt. Dadurch sind mehrere Ableitungen von der Kollektorfläche notwendig, wobei alle diese Leitungen hohe Spannungen abführen und irgendwo im Gebäude verlaufen können.

Erhöht man den Strom durch Parallelschaltung mehrerer Module, sind grössere Querschnitte bei den Leitungen notwendig, der Verbrauch an teurem Kupfer steigt deutlich an. Aus wirtschaftlichen Gründen wird folglich die Serienschaltung eher vorgezogen und statt des Stroms die Spannung erhöht.

Elektrische Gefahren

Handelsübliche Module bringen eine Ausgangsspannung im tiefen zweistelligen Voltbereich in Gleichstrom[5], wobei die einzelne Zelle deutlich unter einem Volt Spannung erzeugt, diese sich aber mit Serienverschaltung addiert. Die einzelnen Zellen sind so verschaltet, dass zwar die Leistung je nach Grösse unterschiedlich ist, dies aber rein über den fliessenden Strom, und nicht über die Spannung reguliert wird. Eine Gleichspannung von 17 Volt bedingt bei einem Modul, welches 240 Watt Spitze erbringen kann, einen elektrischen Strom von über 14 Ampère. Mit der Faustregel, dass pro Quadratmillimeter Leitungsquerschnitt etwa 10 Ampère transportiert werden können, müsste hier demnach bereits ein Kabel von ca. 1,5 mm^2 eingesetzt werden.

Ein Rechenbeispiel: Eine Anlage, mit der Elektrizität für die Einspeisung erzeugt wird, besteht aus Modulen, die 120 Watt in der Spitze leisten. Bei einer Nennspannung von 16,9 Volt fliesst ein Nennstrom von 7,1 Ampère. Die Anlage besteht aus 100 Modulen. Würde man alle Module in Serie schalten, ergäbe dies eine Spannung von 1690 Volt, bei einem Strom von 7,1 Ampère. Handelsübliche Solarkabel sind für Niederspannung (maximal 1000 Volt AC, DC bis ca. 1800 Volt[6]) ausgelegt. Aus diesem Grund muss die Anlage in

4 Schmid Marcel (2010), S. 20
5 Hanus Bo (2007), S. 102
6 Datenblatt SOLAR-KAB*TC, Fa. Solar-Kabel, abrufbar im Internet: www.solar-kabel.com

mindestens zwei Strings unterteilt werden, denn es ist aus Sicherheitsgründen nicht üblich, die technischen Grenzen voll auszureizen. Zudem fällt bei Wechselrichtern der Wirkungsgrad mit der Spannung[7]. 50 Module bilden folglich einen String, welcher nun eine Nennspannung von 845 Volt aufweist, und nach wie vor einen Nennstrom von 7,1 Ampère. In der Praxis werden beide Strings über eigene Zu- und Ableitungskabel auf den Wechselrichter geführt. Würde man nun den Ansatz wählen, nicht die Spannung, sondern mit Parallelschaltung einzelner Module den Strom zu erhöhen, ergäbe dies unglaubliche 710 Ampère. Dafür ist ein Kabel mit ca. 10 Millimetern Durchmesser nötig. Ein solches Kabel ist äusserst teuer, weil grosse Mengen Kupfer dafür notwendig sind. Die parallele Schaltung zweier Strings mit Serienverschaltung ist die einzige Möglichkeit, diese Anlage kostengünstig, mit gutem Wirkungsgrad und den Spezifikationen der Hersteller entsprechend zu realisieren. Eine Reduktion der Spannung würde eine höhere Anzahl Strings erforderlich machen, womit viel mehr Kabel notwendig sind.

Allein aus dem Rechenbeispiel ist ersichtlich, dass aus wirtschaftlichen und technischen Überlegungen die Serienverschaltung innerhalb eines Strings die Lösung ist, welche sich bei der Realisierung einer solchen Anlage aufdrängt. Für die Feuerwehr heisst das, dass bereits bei kleineren Anlagen mit potenziell tödlichen Strömen und Spannungen gerechnet werden muss. Einzig kleine Inselanlagen mit einem oder zwei Modulen sind aufgrund dessen, dass weniger als 50 Volt Spannung erreicht wird, als eher unproblematisch anzusehen. Aber auch hier können Lichtbogen auftreten. Diese sind bei Gleichstrom sehr andauernd und können über lange Zeit bestehen bleiben[8].

Foto: Markus Seitz

Abb. 4: Sechs Wechselrichter einer grösseren Photovoltaikanlage. Jeder Wechselrichter bindet einen Strang von Modulen ins Stromnetz ein, die Netztrennschalter sind gut erreichbar unterhalb der Wechselrichter angebracht. DC-Trennschalter fehlen hier.

7 http://www.photovoltaikforum.com/wechselrichter-f3/wirkungsgrad-und-eingangsspannung-des-wechselricht-t19512.html (abgerufen am 3.1.2011)

8 Mignot, Sommer, Häberlin (2010)

Empfehlungen der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg

Bei der Beurteilung von Gefahren aus Photovoltaik sind die deutschen Feuerwehrschulen teilweise bereits einen Schritt weiter. Die Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg in Bruchsal hat im Mai 2010 ein Dokument herausgegeben, welches sich mit den Risiken von Photovoltaik auseinandersetzt[9]. Richtigerweise wird festgestellt, dass die Wahrscheinlichkeit, auf ein Ereignis zu treffen, bei dem eine PV-Anlage involviert ist, mit der zunehmenden Anlagendichte stetig steigt.

Als erkannte Gefahren bei PV-Anlagen werden einerseits die Elektrizität und das Einsturzrisiko erwähnt. Es wird hier davon ausgegangen, dass bei einer seriellen Schaltung von Modulen in einem einzelnen String Spannungen von 900 bis 1000 Volt DC auftreten können. Bereits geringe Lichteinstrahlung wie die Schadenplatzbeleuchtung könne lebensgefährliche Ströme in den PV-Modulen erzeugen.

Bei einer Überflutung von Untergeschossen muss damit gerechnet werden, dass der Wechselrichter einer Anlage in Mitleidenschaft gezogen wird, und das Risiko eines Stromschlags besteht, wobei natürlich auch jede Beschädigung der Isolation eine ernsthafte Gefahr nach sich zieht.

Dass Solarmodule bei einer Auf-Dach-Montage abstürzen können, erscheint klar, Finis et. al. erwähnen aber auch, dass diese, insbesondere bei einer In-Dach-Montage, ins Gebäudeinnere stürzen können. Die thermische Belastung kann dazu führen, dass einzelne Module gesprengt werden und Splitter umher fliegen. Starker Wind kann die Solarmodule vom Dach lösen und wegwehen, auch ohne Brandereignis[10].

Foto: Heizplan AG

Abb. 5: Photovoltaikanlagen finden an vielen Orten Anwendung. Man kann sie an der blauvioletten Färbung und dem im Sonnenlicht charakteristischen Glitzern einzelner Siliziumkristalle erkennen.

Bei der Brandbekämpfung an spannungsführenden Anlagenteilen sei der Sicherheitsabstand jederzeit einzuhalten. Auf Schweizerische Verhältnisse umgemünzt bedeutet das, dass Niederspannung gelöscht werden kann und bei Hochspannung jegliches Löschen für die Feuerwehr nicht mehr möglich ist[11]. Anlagen unter Hochspannung müssen zuerst spannungsfrei gemacht werden, was bei einer PV-Anlage nicht vollständig möglich ist. Allerdings darf davon ausgegangen werden, dass Gleichstrom weniger

9 Finis, Schmid, Koch. (2010)
10 Finis, Schmid, Koch. (2010)
11 vgl. Tabellenverzeichnis: Gebäudeversicherung des Kantons Zürich. (2004)

gefährlich ist als Wechselstrom[12]. Aus diesem Grund ist es gleichwohl möglich, eine solche Anlage zu löschen. Die dabei einzuhaltenden Sicherheitsabstände beim Löschen mit Wasser betragen 1 Meter mit Sprühstrahl und 5 Meter bei Vollstrahl[13].

Kontrolliertes Abbrennenlassen von Gebäuden

Photovoltaikanlagen können gelöscht werden. Ein kontrolliertes Abbrennenlassen von Gebäuden mit PV-Anlagen, wie es auch schon propagiert wurde[14], ist kein geeignetes Vorgehen im Einsatz. Bei einem Brand in Schwerinsdorf im norddeutschen Landkreis Leer wurde der Feuerwehr von den Medien vorgeworfen, sie hätten ein Wohnhaus wegen einer PV-Anlage kontrolliert abbrennen lassen[15]. Dies wird zwar von der Feuerwehr anders dargestellt[16], aber unabhängig vom wahren Sachverhalt gibt es keinen Grund, ein Feuer in einem Gebäude mit Photovoltaik nicht zu bekämpfen.

Mondlicht und Photovoltaikanlagen

Finis et al. (2010) halten fest, dass selbst Mondlicht zu lebensgefährlichen Strömen führen könne. Dies darf bezweifelt werden, ist doch die Lichtintensität von Mondlicht um einen Faktor 100'000 bis 1'000'000 mal kleiner als diejenige der Sonne.

Die Spannungen in PV-Modulen sind ziemlich konstant, mit zunehmender Lichteinstrahlung nimmt nur der fliessende Strom linear zu[17]. Dabei können bereits geringe Lichteinstrahlungen wie Scheinwerferlicht lebensgefährliche Spannungen erzeugen, die sogar an abgestürzten Modulen anliegen können. Dass Vollmondlicht einen lebensgefährlichen Strom in den Modulen entstehen lassen kann, ist nicht zu erhärten. Die Rechnung ist nicht einfach, eine Abschätzung kann aber vorgenommen werden. Sie beruht darauf, dass die Einheit Lux für monochromatisches Licht in Watt pro Quadratmeter umgerechnet werden kann, für eine spektrale Lichtquelle ist dies hingegen nicht möglich. In der Folge wird die Vereinfachung gemacht, dass Mond und Sonne monochromatisches Licht aussenden. Dies ist zwar nicht der Fall, aber der Energiegehalt der unterschiedlichen Wellenlängen schwankt nicht sehr stark. Aus der Gleichung $E = \frac{h * c}{\lambda}$ ist ersichtlich, dass bei genutzten Wellenlängen (λ) von etwa 350 bis 1100 nm der Energieinhalt (E) um rund einen Faktor 3 abweicht, da h und c als konstant angenommen werden dürfen.

Die Sonne strahlt an einem sonnigen Tag mit einer Lichtintensität von 100'000 Lux vom Himmel, in einer Vollmondnacht kommen gerade mal 0.25 Lux zusammen[18]. In sehr grossen Modulen werden Ströme bis ca. 15 Ampère erzeugt, bei voller und optimaler Sonneneinstrahlung. Um lebensgefährliche Spannungen zu erzeugen, müssen Solarmodule zu einem String seriell verschaltet sein. Damit erhöht sich nicht der Strom, nur die Spannung. Mondlicht ist um einen Faktor 400'000 schwächer, womit der fliessende Strom (I) in den Zuleitungen abgeschätzt werden kann:

12 Biegelmeier et al. (2003), S. 168
13 Mignot, Sommer, Häberlin (2010), S. 38
14 Giersberg Achim (2010)
15 Voss Klaus D. (2010)
16 Weege Thomas (2010)
17 www.solarserver.de - Photovoltaik: Solarstrom und Solarzellen in Theorie und Praxis (2010)
18 http://de.wikipedia.org/wiki/Lux_(Einheit)

$$I \simeq \frac{0.25\,Lux}{100\,000\,Lux} \cdot 15\,Ampère = 0.0375\,Milliampère$$

Es werden nicht einmal 0,1 Milliampère erreicht, was für Menschen ungefährlich ist. Das deckt sich ebenfalls mit den Angaben, die von Fachleuten[19] gemacht werden, womit diese Abschätzung folglich als grobe Orientierungshilfe benutzt werden kann.
Scheinwerferlicht aus kurzer Distanz, oder gar Licht, das von einem Brand stammt, kann viel heller als Vollmondlicht sein. Prof. Häberlin von der Berner Fachhochschule geht davon aus, dass in diesem Fall eine, wenn auch kleine Gefahr eines gefährlichen Stromschlags besteht[20]. Benutzt man dieselbe Abschätzung, scheint die Argumentation stichhaltig zu sein. Es müssen schon sehr unglückliche Umstände zusammenkommen, damit der fliessende Strom lebensgefährlich wird.

Absturzgefahr

Wenn Module abstürzen - dies wird bei einem fortgeschrittenen Ereignis wahrscheinlich - entsteht im Bereich unter der Dachschräge eine gefährliche Situation. Deshalb ist dieser Bereich ausreichend gross abzusperren und mit einem Betreteverbot zu belegen. Die Module sind zwar gegen Sturm- und Wettergefahren in der Regel genügend abgesichert, da sie bei Schrägdächern auf der Balkenkonstruktion befestigt werden. Wenn diese nicht mehr tragfähig ist, oder die Verbindungselemente schmelzen oder verbrennen, können einzelne Module oder die ganze Anlage abstürzen. Aus der Physik ergibt sich, dass zumindest ein Bereich vor dem Gebäude abgesperrt werden sollte, der der Höhe bis zur Dachuntersicht entspricht. Wichtig ist dabei, dass Solaranlagen nie auf der Nordseite eines Giebeldachs montiert sind, sondern immer eine Ausrichtung nach Süden haben.
Ein Modul kann auch in den Dachstock hineinstürzen. Besonders bei fortgeschrittener Brandentwicklung besteht diese Gefahr. Ein Atemschutztrupp im Innenangriff würde in diesem Moment einem erhöhten Risiko ausgesetzt, womit der Innenangriff im Dachstock bei einem fortgeschrittenen Ereignis abgebrochen werden sollte.

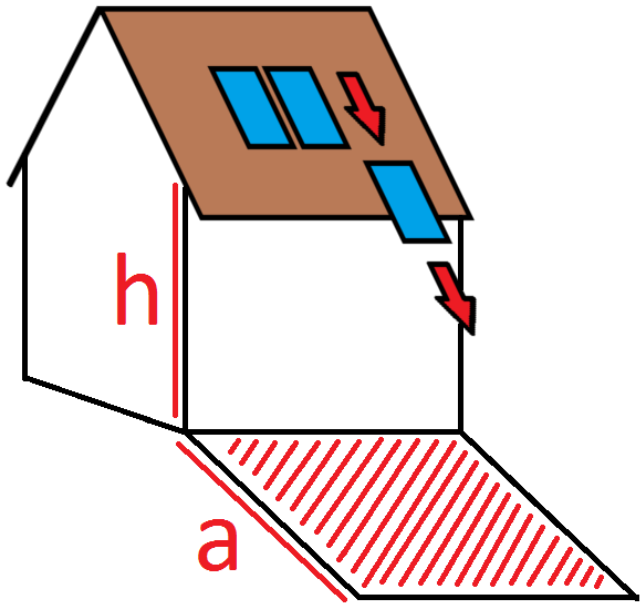


Abb. 6: Abstürzende Solarmodule oder -kollektoren treffen bei mehr oder weniger ebenem Gelände innerhalb eines Gebiets auf, welches nicht weiter von der Hauswand weg liegt (a) als diese bis zur Dachschräge hoch (h) ist. Dieser Bereich muss bereits bei Einsatzbeginn abgesperrt werden. Bei abfallendem Gelände muss der Bereich vergrössert werden.

Eine einfache Faustregel lautet: Wenn ich die Module auf dem Dach nicht mehr sehen kann, befinde ich mich im Gefahrenbereich.

19 Prof. Häberlin (FH Bern)
20 Mignot, Sommer, Häberlin. (2010)

Giftige Gase

Photovoltaikanlagen bestehen aus Siliziumwafern, welche mit verschiedenen Elementen dotiert werden. Da es sich dabei um chemische Elemente mit einer grossen Giftigkeit handeln kann, hält sich hartnäckig das Gerücht, dass das Löschen einer PV-Anlage gefährlich sei, weil enorm giftige Gase entstehen würden. Dies gilt offenbar nur für in der Raumfahrt verwendete Photovoltaik mit enorm guten Wirkungsgraden[21]. Für Anlagen auf Dächern gilt dies nicht, denn Zellen, die in der Raumfahrt benutzt werden, sind um ein Vielfaches teurer und werden deshalb ausschliesslich dort verwendet. Selbstverständlich soll, wie bei jedem anderen Brand auch, mit umluftunabhängigem Atemschutz gearbeitet werden, denn Kunststoffe und andere Materialien bewirken beim Abbrennen das Entstehen giftiger Produkte, die nicht eingeatmet werden sollten.

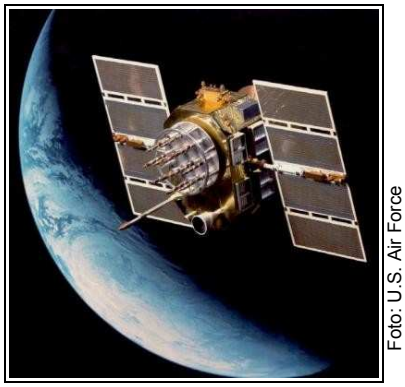


Foto: U.S. Air Force

Abb. 7: In der Raumfahrt werden Photovoltaikmodule benutzt, die im Brandfall giftige Gase abgeben können.

Vorsicht vor heissen Splittern

Wenn Photovoltaikanlagen in Brand stehen, lösen sich die Module auf. Dabei entstehen Splitter und folienartige Fetzen, die noch brennen und vom Wind weggetragen werden können. Sie kühlen nur langsam aus und gefährden Feuerwehrleute und andere Personen in der Umgebung[22].

Brand eines energieautarken Wohncontainers am 2.4.2010 in Zürich

„Self“, ein energieautarker Wohncontainer und Produkt eines wissenschaftlichen Forschungsprojektes der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt EMPA, brannte an der Zürcher Ausstellungsstrasse am 2. April 2010[23]. Als Brandursache wird von einem technischen Defekt ausgegangen[24], welcher sich gerade bei einer solch enormen Dichte von Anlagen zur Energieversorgung und -speicherung verheerend auswirken kann. Die Probleme, die sich Einsatzleiter Christian Kollegger stellten, waren in einer ersten Phase nicht erkennbar. Der Container stand bereits beim Eintreffen der Feuerwehr im Vollbrand, die PV-Module auf dem Dach waren so nicht zu sehen. Erst nach dem Öffnen einer Wand kamen Wasserstoffflaschen zum Vorschein, die sich glücklicherweise bald als Attrappen entpuppten. In der Folge bereiteten insbesondere die Batterien mit ca. 40 Litern Batteriesäure Sorgen. Sie wurden geborgen und die Batteriesäure in Auffangbehälter umgepumpt, um eine Umweltgefährdung auszuschliessen[25]. Das Erkennen einer PV-Anlage kann bereits problematisch sein. Diese Anlagen sind aus ästhetischen Gründen häufig so gebaut, dass sie nicht gesehen werden können, wenn man sich vor dem Gebäude befindet. Eine Kennzeichnungspflicht gibt es bisher nicht, was aber aus Sicht der Feuerwehren wichtig wäre. Die grössten Gefahren gehen deshalb von nicht erkannten

21 http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle (abgerufen am 16.12.2010)
22 Weege Thomas (2010)
23 Tagesanzeiger online, 3. April 2010
24 Powernewz, 5. September 2010
25 Hegi Fabian (2010)

Anlagen aus. Weiss man hingegen, dass sich in einem Objekt eine Anlage befindet, kann man das Vorgehen der Situation anpassen.

Autarke Anlagen (Inselanlagen), wie sie im beschriebenen energieautarken Container, aber auch in Wochenendhäuschen, Schrebergärten, an abgelegenen Bushaltestellen oder Strassenbeleuchtungen und Notrufsäulen gebaut werden, sind immer mit einer Energiespeicherung kombiniert. Da möglichst viel Energie auf kleinem Raum gespeichert werden soll, finden sich hier hohe Energiedichten in Batterien, die einen Brand zusätzlich beschleunigen oder sogar auslösen können. Auch wenn es sich nur um eine Pilotanlage handelte und die Wasserstoffbehälter Attrappen waren, fanden sich Batterien mit grossen Kapazitäten. Die Spannungen in Inselanlagen sind zwar meist eher klein, dafür kommen Stoffe wie Batteriesäure, welche chemisch verdünnter Schwefelsäure entspricht, dazu. Batteriesäure ist stark ätzend und greift Haut, Textilien, Leder und vieles mehr an. Beim Einsatz im Container „Self“ entschied der Einsatzleiter, die Batterien auszubauen, um eine weitere Gefährdung auszuschliessen. Dabei ist wegen der Batteriesäure mit grösster Vorsicht vorzugehen[26].

Foto: Johannes Dietschi

Abb. 8: „Self“, ein energieautarker Container, der auf der ganzen Dachfläche mit Photovoltaik ausgerüstet war, brannte im April 2010 in Zürich komplett aus. Durch die Containerbauweise konnten die Photovoltaikmodule nicht erkannt werden, der ganze Container entpuppte sich als grosse Überraschungsbox.

26 The Merck Index (1996), Substanz 9147

Solarthermie

Auch wenn Solarthermie häufig nicht als sehr problematisch angesehen wird, so sind bei einem Feuerwehreinsatz dennoch einige Risiken zu beachten. Der schematische Aufbau einer solchen Anlage wird in Abbildung 11 verdeutlicht. Dabei wird Wasser in einem Boiler oder Speicher erhitzt. Die Eigenschaft, dass es bei sehr grosser Erhitzung zur Kalkausfällung in Leitungswasser kommt, macht es nötig, die Temperatur eines Boilers auf ca. 70° C zu begrenzen. Da diese Temperatur im Sommer typischerweise schon um die Mittagszeit erreicht wird, kann zusätzliche Wärme nicht mehr von den Kollektoren abgeführt werden.

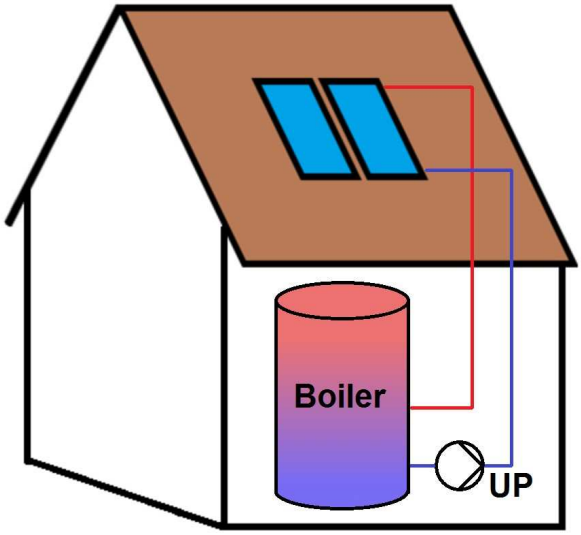


Abb. 11: Schematischer Aufbau einer Solarthermieanlage: In den Solarkollektoren wird ein wässriges Wärmeträgermedium durch Sonneneinstrahlung erhitzt. Eine im Kreislauf integrierte Umwälzpumpe (UP) bewirkt, dass das Medium im Kreis zirkuliert. Die Wärme wird vom Dach abgeführt und mittels eines Wärmetauschers auf den Boiler oder Speicher übertragen. Anschliessend strömt das Medium wieder zurück aufs Dach, wo es von neuem erhitzt wird.

Die Steuerung schaltet die Umwälzung des Systems aus und das im Kollektor befindliche Wärmeübertragungsmedium (meistens Wasser, versetzt mit einem Frostschutzmittel auf Glykolbasis) kann sich auf Temperaturen weit über dem Siedepunkt erhöhen, wobei Druck auf dem System entsteht. Bei einer plötzlichen Verletzung des Zirkulationskreislaufs in Kollektornähe ist auf jeden Fall zu erwarten, dass überhitzter Dampf austreten wird und Einsatzkräfte gefährdet. Diese Gefahr besteht ausschliesslich bei genügend grosser Gesamteinstrahlung, was typischerweise in den Sommermonaten am Nachmittag der Fall ist. In den Nachtstunden oder bei regnerischem Wetter kann sich das System nicht über den Siedepunkt von Wasser erhitzen, kann aber trotzdem noch Restwärme enthalten. Im Zweifelsfall kann die Kollektortemperatur häufig am Steuergerät abgelesen werden.

Flachbettkollektoren

Flachbettkollektoren sind die verbreitetste Bauform von Solarkollektoren. Da meistens ausreichend Dachfläche für die Montage von Kollektoren zur Verfügung steht, werden Kollektoren dieser Bauart sehr häufig installiert, obwohl ihr Wirkungsgrad nicht dem maximal technisch Machbaren entspricht. Es bietet sich meist eher an, eine etwas grössere Fläche zu installieren und den etwas weniger effizienten Flachbettkollektor zu wählen, statt den teureren Vakuumröhrenkollektor einzusetzen.

Foto: Heizplan AG

Abb. 10: Flachbettkollektoren zur solaren Wärmeerzeugung

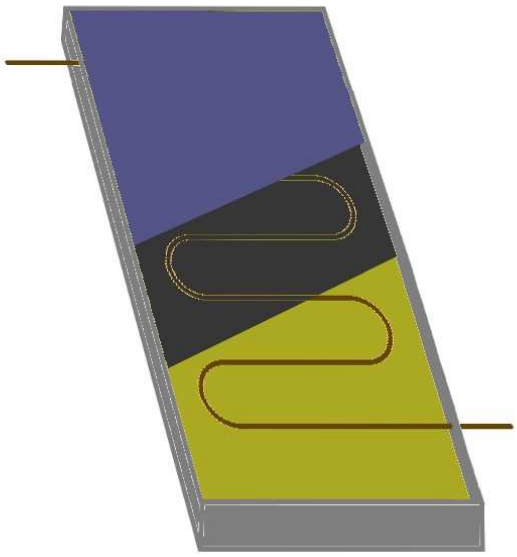


Abb. 12: Ein Flachbettkollektor im Querschnitt. Auf einer Isolation aus Steinwolle (braun-gelb) liegt das Rohr auf, in welchem Wärmeträgermedium zirkuliert. Das Rohr ist mit dem Absorber (schwarz) verbunden. Der ganze Kollektor wird von einer massiven, hagelschlagsicheren Glasscheibe (blauviolett) zur Sonnenseite hin abgeschlossen.

Flachbettkollektoren sind im Aufbau recht einfach (vgl. Abb. 12). In der Regel enthalten sie einen Absorber aus Metallblech, häufig Kupfer oder Stahl, welcher mit einer schwarzen, Wärme absorbierenden Beschichtung versehen wird. Die Wärme wird über ein Metallrohr, in der Regel Kupfer, abgeführt. Das Wärmeaustauschermedium zirkuliert direkt über den Kollektor, meist wird das zugehörige Rohr schlangenförmig geführt und es gibt an jedem Kollektormodul einen Ein- und einen Austrittsanschluss. Der Absorber ist auf eine Wärmedämmung gebettet, hinter der ein luft- und wasserdichter Abschluss zur Dachseite, häufig Aluminiumblech, folgt. Zur Sonnenseite liegt über dem Absorber ein Luftpolster, bevor eine Glasscheibe den Kollektor abschliesst. Zur Seite hin wird der Kollektor häufig von einem Stahl- oder Aluminiumrahmen mit Gummidichtungen abgeschlossen.

Vakuumröhrenkollektoren

Vakuumröhrenkollektoren sind hocheffiziente, aber auch sehr teure Anlagen zur solaren Wärmegewinnung. Sie bestehen aus einzelnen Glasröhren, welche evakuiert sind und ein dünnes Kupferblech enthalten. Dieses ist mit einer schwarzen, hochabsorbierenden Schicht überzogen. Der Wärmetransport innerhalb dieser ca. 2 Meter langen Röhren geschieht bei den meisten Herstellern über ein mit dem Kupferblech verlöteten Kupferrohr (ein sogenanntes Wärmerohr oder „Heat pipe“), in welchem ein Wärmetransportmedium zirkuliert. Dabei handelt es sich in aller Regel nicht um dasselbe Medium, welches auf den Wärmetauscher im Boiler oder Speicher eingespiesen wird. Zu diesem Zweck befindet sich am oberen Ende einer einzelnen Röhre eines Vakuumröhrenkollektors ein einfach gebauter Wärmetauscher.

Foto: Heizplan AG

Abb. 9: Vakuumröhrenkollektoren erzeugen Wärme und sind sehr einfach von Photovoltaik und Flachbettkollektoren zu unterscheiden.

Beim sommerlichen Betrieb, wo die Solltemperatur des Speichers bereits früh im Tagesverlauf erreicht werden kann, wird auch hier die Zirkulation des Wärmetransportmediums abgestellt. Dadurch kann sich das Medium am Wärmetauscher auf Temperaturen deutlich

über dem Siedepunkt erhitzen, was bei einer plötzlichen Verletzung des Kreislaufs zu einem Dampfaustritt führt und somit für Einsatzkräfte zu schweren Verbrühungen führen kann.

Die einzelnen Kollektorröhren sind evakuiert, damit sichergestellt werden kann, dass der Wärmeverlust minimal ist. Ein Bruch des Glasrohrs führt in manchen Fällen zu einer Implosion[27]. Es ist daher durch Einsatzkräfte unbedingt zu unterlassen, Vakuumröhrenkollektoren zu beschädigen, da durch umherfliegende Glassplitter ein erhebliches Verletzungsrisiko besteht.

Vorgehen bei Kollektoren im gefährdeten Bereich

Bei Sonneneinstrahlung steht das ganze System unter Druck. Eine Beschädigung des Kollektors oder der Zu- und Ableitung kann zum Austritt von grossen Mengen überhitztem Dampf führen und schwere Verbrühungen verursachen. Diese Gefahr wird dadurch umgangen, dass das System über das Überdruckventil auf Umgebungsdruck gebracht wird. Bei Flachbettkollektoren kann das komplette System, bei Vakuumröhrenkollektoren zumindest der überhitzte Teil mit dem Zirkulationsmedium, auf diese Weise entschärft werden. Kellerräumlichkeiten sind bei Dachstockbränden in der Regel noch gut zugänglich, dort befindet sich meist die Anlagentechnik, typischerweise im Heizungsraum. Um Überdruck im Normalbetrieb zu verhindern, muss eine Anlage mit einem Überdruckventil ausgestattet sein, welches sich meist von Hand öffnen lässt. Durch ein Öffnen dieses Ventils wird die Anlage auf Normaldruck gebracht, das Medium wird durch entstehenden Dampf aus den Kollektoren ausgetrieben. Dabei muss das Ventil äusserst behutsam und mit kompletter Brandschutzausrüstung geöffnet werden, da Gefahr besteht, dass überhitzter Dampf austritt. Mit entsprechender Vorsicht kann das System solange entlastet werden, bis kein Medium oder Dampf mehr austritt. Der Vorgang muss in regelmässigen Zeitabständen wiederholt werden, falls der Kollektorkreislauf nicht dauernd geöffnet werden kann, ansonsten sich durch im System verbleibende Resten wieder Druck aufbauen kann. Die verwendeten Medien enthalten ein Frostschutzmittel, welches gesundheitsschädlich wirkt. Es ist deshalb darauf zu achten, dass das Medium nicht mit der Haut oder Schleimhäuten in Kontakt kommt. Ausgetretene Mengen sind aufzufangen und fachgerecht zu entsorgen. Flachbettkollektoren, welche druckentlastet wurden, bergen keine besonderen Risiken mehr, es verbleiben aber natürlich die Gefahren durch Glassplitter und scharfkantige Metallteile bei Beschädigung. Anders verhält es sich bei Vakuumröhrenkollektoren; sie stehen nach wie vor unter grossem Unterdruck, und können bei einem Röhrenbruch implodieren, wobei Glassplitter umherfliegen können.

Absturzgefahr

Auf die Absturzgefahr wurde bereits im Kapitel Photovoltaik eingegangen. Im Wesentlichen unterscheidet sich die Gefahr bei Solarthermie nicht. Kollektoren sind eher schwerer als Photovoltaik-Module, weshalb sie schneller abstürzen dürften, dafür aber bei Sturm- und Wetterereignissen eher stabiler sind.

27 Solarportal24 (2011)

Holzenergie

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der aufgrund seiner guten Verfügbarkeit wieder vermehrt genutzt wird. Bis in die frühe Neuzeit war Holz der wichtigste Energieträger überhaupt, wurde dann allerdings durch die zunehmende Exploration von Lagerstätten fossiler Energiequellen in den Hintergrund gerückt. Neue Technologien verhelfen dem Holz seit wenigen Jahrzehnten zu einer Rückkehr, zu nennen sind insbesondere Pellets- und Hackschnitzelheizungen sowie die Altholzverwertung in Biomassekraftwerken.

Pellets- und Holzschnitzelheizungen

Holzpellets sind ein Brennstoff, der aus Holzverarbeitungs- und Sägereinebenprodukten hergestellt wird. Dabei werden Sägemehl oder Hobelabfälle mittels grosser Pressen stäbchenförmig gepresst. Der grösste Vorteil von Holzpellets ist, dass sie maschinell förderbar sind und Heizungsanlagen gebaut werden können, welche vollautomatisch arbeiten.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 13: Hackschnitzel- und Pelletssilos sollten nur mit Atemschutz betreten werden. Zusätzlich muss auf die schlechte Trittsicherheit aufgepasst werden, eine Seilsicherung empfiehlt sich.

Im Januar 2010 kam es im nordrhein-westfälischen Remscheid zu einem tödlichen Unfall in einer Holzpelletsheizanlage. Obwohl durch das Schweizerische Toxikologische Zentrum kommuniziert wurde, dass Holzpellets unter bestimmten Bedingungen Kohlenmonoxid ausgasen können, ist diese Tatsache noch nicht allgemein bekannt. Mit einer Medienmitteilung warnte das Schweizerische Toxikologische Zentrum am 12. Januar 2009 vor der Gefahr der Kohlenmonoxidausgasung. Es wird erwähnt, dass Pellets Kohlenmonoxid, aber auch andere gesundheitsschädliche Stoffe wie Aldehyde, Methanol und flüchtige Kohlenwasserstoffe freisetzen können. Es wird davor gewarnt, Pelletsbunker ohne vorherige Durchlüftung zu betreten.[28] Insbesondere grosse Anlagen bergen ein Vergiftungsrisiko, bei kleineren Anlagen hingegen kann die Konzentration von Kohlenmonoxid in der Luft meist keine gefährliche Konzentration erreichen. Die von Svedberg et. al. in einer Anlage gemessene Konzentration von 123 mg/m^3 überschreitet aber den MAK-Wert bereits um das Vierfache[29]. In einer Untersuchung 2008 konnte in einem Frachtschiff, welches mit Holzpellets beladen war, eine Spitzenkonzentration von 14650 ppm nachgewiesen werden[30]. Diese Konzentration kann innert weniger Minuten zum Tod führen[31].

Anders als bei Stückholzheizungen wird in Holzpellets- und -schnitzelanlagen der

28 Schweizerisches Toxikologisches Informationszentrum (2009)
29 Svedberg et. al. (2004)
30 Svedberg et. al. (2008)
31 GESTIS-Stoffdatenbank

Brennstoff automatisiert gefördert. Es besteht eine direkte Verbindung vom Brennraum zur Lagerung. Im Feuerwehralltag zeigt sich, dass vor allem bei älteren Anlagen die Gefahr eines Rückbrands besteht. Aufgrund des schnell verbrauchten Sauerstoffs in der Fördermechanik oder im Lagerbunker entstehen dabei häufig Schwelbrände, welche schlecht zugänglich sind. Einzelne Anlagen verfügen über Löschwasserventile, über welche der Zugang zur Förderschnecke erleichtert wird[32]. Der Besuch von entsprechenden Feuerungsanlagen zeigte aber, dass ein Löschwasserventil heute meist nicht mehr eingebaut wird.

Hackschnitzel und Pellets sind staubig. Sie können, wenn sie gefördert, geschaufelt oder sonst bewegt werden, viel Staub in die Luft bringen. Es besteht die Gefahr einer Staubexplosion. Um dies zu verhindern, kann der Staub, wie dies im Biomassekraftwerk in Weiningen gemacht wird, mit einem feinen Wasser-Sprühnebel gebunden werden. Zusätzliche Überdruckbelüftung (eventuell mit einer Lutte) führt dazu, dass der Staub ins Freie transportiert wird und sich dort soweit verteilt, dass keine Gefahr mehr besteht.
Weil Sauerstoffmangel die Ausbreitung eines solchen Brandes effizient verhindert, ergibt sich ein Konflikt mit der Empfehlung des Toxikologischen Informationszentrums zur guten Durchlüftung. Eine Durchlüftung kann auch Feuchtigkeit in einen Vorratssilo bringen, was unerwünscht ist, weil dadurch der Heizwert sinken oder eine Gärung in Gang kommen kann, die toxische oder erstickende Gase freisetzt.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 14: Hackschnitzelfeuerungsanlagen werden häufig mit sehr grossen Leistungen installiert. In Hackschnitzelsilos können durch Gärung vor allem erstickende Gase wie Kohlendioxid entstehen.

Die Entstehung toxischer Gase kommt bei jeder Art von Holz vor[33]. Bei Pellets, und in geringerem Masse bei Holzschnitzeln ist die Oberfläche stark vergrössert, was das Ausgasen beschleunigt. Demnach müsste dies auch für Holzspäne und Sägemehl gelten, wobei aufgrund geringerer Lagerungsdichte die Gefahr kleiner sein dürfte.

Hackschnitzel unterscheidet man in luftgetrocknete Trockenschnitzel und Grünschnitzel. Grünschnitzel (auch Nassschnitzel) enthalten viel Feuchtigkeit, da sie aus frischem Holz produziert und direkt an den Kunden ausgeliefert werden[34]. Im Grünschnitzelsilo am Standort des Verbrauchers kann es zu einer Gärung kommen. Dabei wird hauptsächlich CO_2 frei, was für die Feuerwehr in jedem Fall umluftunabhängigen Atemschutz notwendig macht, sollte so ein Silo betreten werden müssen. Auch wenn bei Schnitzelsilos eine Belüftung vorgeschrieben ist[35], müssen darin arbeitende Feuerwehrleute immer von aussen überwacht werden.

32 Erny et al. (1994), S. 16 ff.
33 Meyer und Boehme (1994)
34 AVA – Aargauisches Versicherungsamt (2005), S.1
35 Denzler Jürg (2000), S. 7

Allgemeine Gefahren im Zusammenhang mit Holzheizungen

Selbstverständlich sind toxische Gase nicht die einzigen Herausforderungen, die sich für Feuerwehren im Zusammenhang mit Holzheizungen bieten. Gerade in Silos, wo Material locker gelagert wird, ist die Trittfestigkeit nicht gegeben. Ein Atemschutzgeräteträger, der in einen solchen Silo abstürzt, dürfte grösste Schwierigkeiten haben, sich wieder zu befreien. Eine entsprechende Sicherung ist anzuordnen, um das zu verhindern.

Ob die zunehmende Anzahl von Holzheizungen zu einer entsprechenden Zunahme von Kaminbränden führt, ist unklar. Obwohl moderne Holzheizungen eine sauberere Verbrennung als alte Anlagen haben, entstehen Holzgaskondensat und Russ, welche sich im Kamin ablagern und sich entzünden können. Durch die heute sehr langen Kamine ist die Bekämpfung solcher Brände schwierig. Vereinfacht wird dies gegenüber früher, indem Kamine häufig an der Aussenfassade entlanggeführt werden und so die Ausbreitung eines Brandes unwahrscheinlicher wird. Heute verwendete Stahl- oder Chamottenrohrkamine sind weniger anfällig auf Hitzesprengung, eine Gefahr stellt ein Kaminbrand aber allemal dar[36]. Zum Löschen des Kaminbrands mit der Eimerspritze ist nur der Kaminfeger berechtigt, da er eine spezielle Ausbildung hat. In einen brennenden Kamin darf auf keinen Fall Wasser abgegeben werden. Der entstehende Wasserdampf kann den Kamin sprengen, womit einer Ausdehnung oder Ausbreitung des Feuers Tür und Tor geöffnet würde. Das Vorgehen einer Feuerwehr bei Alarmierung wegen eines Kaminbrands ist wie folgt:

1. Ausrückung und Absichern des Kamins mit Atemschutztrupps (mit Wärmebildkamera und Leitung) auf jedem Stockwerk

2. Sofortige Alarmierung des Kaminfegers

3. Bekämpfung des Brands durch den Kaminfeger mit Unterstützung der Feuerwehr

4. Überwachung nachdem der Brand gelöscht wurde, da der Kamin noch über Stunden Hitze ausstrahlt, und die Gefahr eines Folgebrands besteht.

Biomassekraftwerke

Biomassekraftwerke sind Anlagen, in denen primär Altholz oder Holzabfälle aus der Industrie energetisch verwertet werden. Es gibt auch Anlagen, in denen Hackschnitzel, Pellets oder Stückholz, welches meist vor Ort mechanisch zerkleinert wird, verwertet werden. So wird eine optimale Verbrennung ermöglicht. Wird Holz ausschliesslich zur Wärmeerzeugung genutzt, spricht man von einem Biomasseheizwerk[37].

Es gibt unterschiedliche Typen von Biomassekraftwerken. Zum einen die klassische Verbrennung, bei der die entstehende Wärme genutzt wird, um über ein herkömmliches Dampfkraftwerk Strom zu erzeugen. In einer Holzvergasungsanlage werden über die Thermolyse brennbare Gase gewonnen, die in einem Blockheizkraftwerk verstromt werden. Ein letztes Verfahren bilden die sogenannten ORC-Anlagen. Diese Kraftwerke arbeiten mit der klassischen Verbrennung, übertragen die Wärme aber nicht mittels Wasserdampf, sondern über ein Wärmeträgeröl, welches anschliessend eine Kühlflüssigkeit ver-

36 Grünenwald (2008)
37 http://de.wikipedia.org/wiki/Biomasseheizkraftwerk

dampft und so die Turbine antreibt. Alle Anlagentypen generieren grosse Abwärmemengen, welche auch mittels eines Fernwärmenetzes genutzt werden können.

Biomassekraftwerk Fa. Richi in Weiningen (ZH)

Um ein genaues Bild einer Biomassekraftanlage zu erhalten, wurde das Werk der Firma Richi besucht. Hier wird Altholz und Tiermehl auf zwei gesonderten Verbrennungslinien thermisch verwertet. Die Anlage ist mit einer elektrischen Leistung von 3200 kW und jährlich rund 25'000 Tonnen verwerteter Biomasse sehr gross. Sie erinnert an eine Kehrichtverbrennungsanlage, mit dem Unterschied, dass hier der Verbrennungsprozess auf Energiegewinnung und nicht auf auf rückstandslose Verbrennung von gemischten Abfällen mit unterschiedlichen Brennwerten optimiert werden kann. Dadurch lässt sich ein höherer Wirkungsgrad erzielen. Die Anlagenbestandteile, Anlieferung, Verbrennung, Rauchgas- und Abwasseraufbereitung sowie die Stromerzeugung entsprechen einer KVA, auch wenn sie in Details natürlich stark abweichen.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 15: Im Werk der Firma Richi in Weiningen wird Holz verbrannt und zur Stromgewinnung genutzt. Das Werk hat eine elektrische Leistung von ca. 3 MW.

Das Funktionsprinzip der Anlage ist einfach. Angeliefertes Holz wird zerkleinert und verbrannt. Die durch die Verbrennung entstehende Wärme heizt Wasser bis zum Siedepunkt auf. Das Wasser verdampft, und mit dem Dampf wird eine Turbine angetrieben, die ihre mechanische Energie auf einen Generator überträgt, wo elektrische Energie produziert wird. Die enorm grossen Mengen an Wärme, wir sprechen von einer thermischen Leistung im Bereich von ca. 10 MW, sind eine potentielle Gefahr. Die Anlagenteile sind äusserst heiß; es braucht auch bei einem Notstopp Stunden, bis die Anlage komplett ausgekühlt ist.

Die Anlage ist im 24-Stunden-Schichtmodell besetzt, und wird bei einem Störfall automatisch oder manuell heruntergefahren. Bis sie komplett stillsteht, vergehen etwa drei Stunden. Während dieser Zeit muss auf der Anlage mit hohen Temperaturen, möglichem Austritt von überhitztem Wasserdampf und Gefährdung durch Abgase aus der Verbrennung gerechnet werden. Für verschiedenste Zwecke werden Chemikalien eingesetzt. Schwefelsäure kommt in der Rauchgasreinigung zum Einsatz, wird aber auch verwendet, um den Kühlwasserkreislauf anzusäuern. Dadurch bildet sich in den Kühlwasserrohren kein Kalk, der sie verstopfen könnte. Kationen und Anionen in Abwasser und Rauchgas werden mittels Sulfiden und Eisen-III-Chlorid gefällt. Die basische Stufe der Rauchgasreinigung verwendet das stark ätzende Natriumhydroxid, bei der Neutralisierung der Abwässer kommt Ammoniak in wässeriger Lösung zum Einsatz.

Da in der Anlage hohe Temperaturen von über 1000° C gefahren werden, ist die Dispositi-

on vorhanden, grosse Mengen thermischer Stickoxide zu emittieren[38]. Dies kann mit dem SNCR-Verfahren verhindert werden[39]. Harnstoff, in der Anlage in Form des Produkts NICASAL® verwendet, ist in der Lage, durch einen nicht-katalytischen, aber hoch selektiven chemischen Prozess die Entstehung von Stickoxiden zu unterdrücken:

$$CO(NH_2)_2 + 2\,NO + \tfrac{1}{2}\,O_2 \rightarrow 2\,N_2 + CO_2 + 2\,H_2O$$

Aus diesem Grund wird Harnstoff direkt in den Verbrennungsprozess eingebracht. Harnstoff ist harmlos, er spielt auch bei der Ausscheidung von Ammoniumstickstoff in Säugetieren eine grosse Rolle[40].

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 16: Grosse Mengen hoch erhitzten Dampfs werden über Druckrohre zu einer Dampfturbine (im Vordergrund, unter der grauen Isolation) geleitet. Über einen Generator (links im Hintergrund, rot) wird aus mechanischer Energie elektrische Energie gewonnen.

Vorgehen im Biomassekraftwerk

Wichtig ist im Ereignisfall, dass keine Anlagenteile betreten werden, in denen Hochspannung zu finden ist. Das sind der Transformatorenraum, wo der Strom für die Einspeisung ins Netz transformiert wird und der Generatorraum, wo ebenfalls Hochspannung anliegen kann. In kleineren Anlagen wird hingegen mit weniger Spannung gearbeitet. Der Anlagenbetreiber kann darüber Auskunft erteilen. Es macht Sinn, solche Anlagen frühzeitig zu beüben. Anlagen unter Hochspannung dürfen nie gelöscht werden, sondern müssen vom Anlagenbetreiber zuerst spannungsfrei geschaltet werden.

38 Karl Jürgen (2006)
39 Duo et. al. (1992)
40 Berg, Tymoczko, Stryer (2007), S. 731

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 17: Transformatoren stehen unter Hochspannung und dürfen auf keinen Fall gelöscht werden, bevor sie nicht spannungsfrei geschaltet sind.

Da Holz zerkleinert verbrannt wird, gibt es einen Lagerbereich dafür. Diese Holzspäne sind staubig und können, wenn sie gefördert oder bewegt werden, viel Staub erzeugen. Dieser kann mit Sprühstrahl reduziert werden. Eine Befeuchtung der Oberfläche reduziert das Risiko eines Brandes oder eines Übergriffs. Ergänzende Überdruckbelüftung reduziert die Gefahr einer Staubexplosion.

Biogas

Unter dem Begriff “Biogasanlage” werden unterschiedliche Betriebskonzepte zusammengefasst. Allen diesen Anlagen gemeinsam ist, dass sie Methangas mittels mikrobieller Prozesse aus Biomasse herstellen. Dieses Gas kann aus Küchenabfällen, Grüngut, Jauche oder Klärschlamm gewonnen werden, wenn unter Luftausschluss eine Vergärung stattfindet. Da die Substrate unterschiedlich sind, unterscheiden sich die Anlagen erheblich, auch die Produktion von giftigen Nebenprodukten wie Schwefelwasserstoff ist unterschiedlich.
Zudem muss unterschieden werden, ob eine Batchvergärung (chargenweise Verarbeitung) läuft, oder ob es sich um ein Modell mit kontinuierlichem Betrieb handelt.

Das Kompogasverfahren

Bei einem Besuch in der Anlage in Otelfingen(ZH) der Axpo-Kompogas AG, wurde das Verfahren, welches diese Firma entwickelt hat, genauer angeschaut. Das Werk in Otelfingen verarbeitet pro Jahr 12'500 Tonnen Grüngut und kann daraus 280 Kubikmeter Gärgase pro Stunde herstellen. Dieses Rohgas enthält etwas mehr als die Hälfte Methan, im weiteren Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Spurengase.
In der Anlage Otelfingen werden nur feste Materialien aus pflanzlicher Herkunft vergärt. Die Anteile von Schwefelwasserstoff und Ammoniak sind daher kleiner als in anderen Anlagen. Dies beruht darauf, dass Pflanzenmaterial weniger Proteine und Fette, aber viel mehr Kohlenhydrate aus Photosynthese enthält als tierisches Material[41]. Dennoch treten im geschlossenen Fermenter erhebliche Konzentrationen von giftigen Gasen auf, denn auch Pflanzen enthalten Proteine.

Bei der Anlieferung von Pflanzenmaterial wird dieses in einen Bunker geschüttet. Hier wird nur Festmaterial abgelagert, es besteht kaum eine Gefahr, dass durch chemische Reaktionen oder mikrobielle Prozesse Atemgifte freigesetzt werden.
Nach der anschliessenden Zerkleinerung des Gärguts, wird dieses in einem Silo eingelagert, wo erste mikrobielle Prozesse einsetzen und die entstehenden Gärgase den Sauerstoff verdrängen. Ab hier muss auch damit gerechnet werden, dass toxische Gase entstehen können. Dies sind bei anaeroben Gärungsprozessen Schwefelwasserstoff und Ammoniak in relativ geringen Konzentrationen. Entstehendes Kohlendioxid und Methan verdrängen den Sauerstoff, weshalb in solchen Silos nur mit umluftunabhängigem Atemschutz gearbeitet werden darf.

In einem nächsten Arbeitsschritt wird Material aus dem Silo in den Fermenter eingespiesen. Dazu wird bereits vergorenes Material beigemischt, um die Mikrobiologie einzustellen, und dann mittels einer Förderanlage der Fermenter beschickt. Im Fermenter herrschen Temperaturen von 55° C und anaerobe Bedingungen. Die Mikroorganismen vergären unter diesen Bedingungen das Pflanzenmaterial optimal, dabei entstehen Kohlendioxid, Methan und in kleinerer Menge auch Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Amine, Phosphane und weitere flüchtige Stoffe wie Thiole und verschiedene Kohlenwasserstoffe. Dieser Cocktail aus Gasen, der teils stark toxisch wirkt, ist in seiner Gefährlichkeit nicht zu unterschätzen.

41 Berg, Tymoczko, Stryer (2007), S. 629-652

Der Unfall von Rhadereistedt

Am 8. November 2005 wurde in der Biogasanlage Rhadereistedt (Niedersachsen) von einem niederländischen Camion Schweinedünndarmschleim aus der Pharmaindustrie angeliefert. Als die Ladung in den Anlieferungsbunker gefüllt wurde, entwickelte sich in kürzester Zeit ein zu diesem Zeitpunkt unbekanntes Gas, welches sich rasch ausbreitete. Die vier in der Halle anwesenden Personen fielen sofort bewusstlos zu Boden. Ein LKW-Fahrer, der sich in einem Nebenraum aufhielt, bemerkte dies und rettete sich mit letzter Kraft ins Freie, wo er mit seinem Mobiltelefon einen Notruf absetzen konnte.

Als die ersten Einsatzkräfte der Feuerwehr Rhadereistedt eintrafen, warnte der LKW-Fahrer diese eindringlich davor, die Halle zu betreten. Dort würden sich 4 Personen befinden, die aber bewusstlos auf dem Boden lägen.
Dennoch rückten die Einsatzkräfte unter Atemschutz in die Halle vor und bargen die Personen, die alle weder Atmung noch Puls hatten. Nach Wiederbelebungsmassnahmen wurden der 55-jährige niederländische LKW-Fahrer und eine 32-jährige Frau ins Krankenhaus gebracht. Für den 43-jährigen Betriebsleiter und seinen 32-jährigen Mitarbeiter kam jede Hilfe zu spät.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 18: Ein Unfall wie in Rhadereistedt kann in einer Anlage, die nach dem Verfahren der Firma Axpo Kompogas AG arbeitet, nicht passieren, da flüssige Produkte in dieser Anlage nicht vergärt werden können. Im Bild ist der Anlieferungsbunker der Biogasanlage in Otelfingen zu sehen.

Bald klagten erste Feuerwehrangehörige über Hautreizungen, Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen. Sie gehörten zu den ersten Kräften an Ort und hatten bei den Wiederbelebungsmassnahmen geholfen. Nach wie vor war nicht bekannt, welcher Stoff die Vergiftungserscheinungen hervorrief.
Erst später konnte mit Messungen in der Anlage eine Konzentration von über 100 ppm Schwefelwasserstoff nachgewiesen werden, da die Skala der verwendeten Prüfröhrchen bei 100 ppm endet. Mit veränderter Messtechnik wurden Konzentrationen zwischen 600

und 800 ppm gemessen, woraus man annehmen muss, dass im unmittelbaren Bereich der Unfallstelle Konzentrationen von deutlich über 1000 ppm geherrscht haben müssen[42]. Solche Konzentrationen führen schnell zum Tod, gemäss Tabelle 1 [43].

Elektrische Gefahren

In Biogasanlagen wird Strom meist über ein Blockheizkraftwerk erzeugt. Solche Anlagen arbeiten häufig mit einer Ausgangsspannung von 400 Volt Dreiphasenwechselstrom, wie das auch in der Anlage Otelfingen der Fall ist. So eignen sich Blockheizkraftwerke auch, um direkt Verbraucher zu versorgen. Um Strom in ein Netz einzuspeisen, wird er mittels eines Transformators auf Hochspannung gebracht.
In grösseren Anlagen ist eine Stromerzeugung mittels Dampfturbine und angeschlossenem Generator ebenfalls denkbar. Blockheizkraftwerke haben den Vorteil, dass sie sehr schnell ein- und ausgeschaltet werden können. Zudem ist Biogas sehr gut in Motoren einsetzbar.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 19: Das Blockheizkraftwerk im Werk der Axpo Kompogas AG in Otelfingen. Mit einem Gasverbrennungsmotor wird ein Generator angetrieben, die Abwärme dient als Prozesswärme und Heizwärme in einem Nahwärmeverbund.

Die erzeugten 230/400 Volt sind nicht gefährlicher als eine Strominstallation im Haushalt. Im Bereich des Transformators wird der Strom in Hochspannung umgewandelt, hier ist ein Löschen ohne vorheriges Ausschalten nicht mehr möglich.

Blockheizkraftwerke gibt es in verschiedenen Grössen. Kleine Modelle für den Einsatz in Haushalten, beispielsweise auf einem Bauernhof für die Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogas, arbeiten mit einer Spannung von 230/400 Volt und elektrischen Leistungen im Bereich einiger weniger Kilowatt. Eine Anlage dieser Grössenordnung ist das BHKW Mephisto G26 mit einer elektrischen Ausgangsleistung von 10 bis 24 kW[44]. Grössere Anlagen können mit höheren Spannungen arbeiten. Freiliegende Drähte sind in jedem Fall ein Risiko, solange die Anlage läuft. Wird sie ausgeschaltet und vom Netz getrennt, besteht keine Gefahr mehr. In jedem Fall sind die Löschvorschriften für Anlagen unter Spannung zu beachten[45].

Gasspeicherung

Die Erzeugung von Biogas ist ein kontinuierlicher Prozess. Gas fällt während des Gärvorgangs kontinuierlich an, die Menge schwankt in einem relativ kleinen Bereich, nicht

42 Will Marcel (2006)
43 Siehe Tabellenverzeichnis, S. 54
44 www.kraftwerk-bhkw.de/MEPHISTO/technik02.htm
45 vgl. Tabellenverzeichnis: Löschvorschriften für Anlagen unter Spannung, Tabelle 2

über Grössenordnungen. Deshalb lässt sich mit Biogas die Grundlast in einem Netz eines Gasversorgers abdecken oder elektrische Bandenergie gewinnen. Will man Spitzenlasten abdecken, sei dies im elektrischen Bereich oder auch an einer Tankstelle für Biogas, muss Gas gespeichert werden. Dazu haben sich verschiedene Verfahren bereits seit Jahren bewährt, da die Nutzung von Biogas an und für sich kein neues Phänomen ist. Neu ist nur, dass immer mehr Vergärungsanlagen entstehen, die vorwiegend dem Zweck der Gasgewinnung dienen. Bei der Beurteilung einer Anlage im Einsatz ist es wichtig, Gaslager zu erkennen um sie danach schützen zu können.
Die Speicherverfahren sind unterschiedlich, Methan kann verflüssigt werden, wie beim Ozeantransport, es kann unter Hochdruck komprimiert gespeichert werden oder unter Normaldruck in einem Gasfolienspeicher oder einem Trockengasspeicher gelagert werden.

Im Feuerwehreinsatz stellen alle Gasspeicher eine Gefahr dar. Methangas ist entzündlich und im Bereich von 5.5 bis 14%-Vol. gemischt mit Luft explosiv. Die Zündtemperatur liegt zwar hoch, bei 650°C [46], dies wird aber bei einem Brand oder durch elektrischen Funkenschlag problemlos erreicht.

Foto: RaBoe / Wikipedia

Abb. 20: Gasfolienspeicher in Neuhaus, Niedersachsen

Gasfolienspeicher sind leicht zu erkennen, sie kommen primär bei der Biogaserzeugung aus Jauche auf Landwirtschaftsbetrieben vor. Dabei wird ein Jauchebehälter, der in der Regel im Freien steht, mit einer dehnbaren Kunststofffolie überzogen. Das entstehende Biogas wölbt die Kunststofffolie auf, und es bleibt darunter gefangen. Bei einer Beschädigung der Folie strömt das Gas aus, und verflüchtigt sich. Biogas ist ein Gemisch aus Kohlendioxid[47] und Methan[48] und hat häufig eine Dichte von ca. 1.2 kg pro Kubikmeter, die ungefähr der von Luft entspricht. Biogas verflüchtigt sich folglich weniger schnell als reines Methangas (Erdgas oder aufbereitetes Biogas), welches mit einer Dichte von 0.7 kg pro Kubikmeter deutlich leichter ist. Gefahren bestehen aufgrund der hohen Brandlast eines solchen Speichers. Brennende, umher fliegende Trümmer, die vom Brand eines nahe gelegenen Gebäudes herrühren, können die Plastikfolie in Brand setzen. Der Durchbrand der Folie führt zum Austritt von Gas, wobei gemäss Brandversuchen[49] keine Explosionsgefahr besteht, falls das Gas an der Austrittsstelle abbrennt. Es kann jedoch in kurzer Zeit eine beträchtliche Stichflamme entstehen.
Gasometer sind Gasniederdruckbehälter, die mit einer festen Hülle gebaut werden. Aus

46 The Merck Index, Substanz 6019 (1996)
47 The Merck Index, Substanz 1857 (1996)
48 The Merck Index, Substanz 6019 (1996)
49 Fachverband Biogas e.V. (Hrsg.), 2010, S. 11

Kostengründen finden sie in kleineren und mittleren Biogasanlagen kaum Anwendung. Durch die feste, nicht brennbare Hülle ist die Brandgefahr deutlich kleiner. Eine Explosionsgefahr im Innern kann ebenfalls ausgeschlossen werden, solange der Behälter intakt ist, weil dann das Methan mit 50 bis 90% Gehalt weit ausserhalb der Explosionsgrenzen vorliegt.

Druckgasbehälter finden im Zusammenhang mit Tankstellen Anwendung. Für Erd- und Biogasfahrzeuge wird Biogas auf einen Druck von 200 bar komprimiert, dies ermöglicht eine zügige Betankung und platzsparende Speicherung, was sich auf die Reichweite der Fahrzeuge positiv auswirkt. Druckgastanks werden mit einer Überdrucksicherung gegen Berstgefahr gesichert. Beim Auslösen der Sicherungen kommt es bei einem Fahrzeugbrand in der Regel zur Zündung des Gases, eine meterlange Stichflamme entsteht. Es besteht natürlich immer das Risiko, dass eine Sicherung versagen kann. Es empfiehlt sich, im Einsatz solche Durckgastanks möglichst vom Ereignis abzukoppeln, indem diese mittels Wassernebel gekühlt und durch Hydroschild vor Wärmestrahlung geschützt werden. Bei der besuchten Anlage in Otelfingen konnte festgestellt werden, dass sich das Gaslager in einem ideal durchlüfteten Raum in einiger Distanz zum Produktionsgebäude befand, und sogar durch einen Teich abgetrennt war. Bei Tanksäulen für Erdgas und Biogas, die sich an einer herkömmlichen Tankstelle befinden, kann die Situation ungünstiger sein, sind die Platzverhältnisse doch meist eher kleinräumig, da die Gaszapfsäulen häufig nachträglich eingebaut wurden. Dennoch ist das Druckgaslager bei den meisten Tankstellen in einem kleinen Nebenbau zu finden, wo sich Kompressoren und Gasflaschen befinden. Sie können so gut geschützt werden. Die Gaszufuhr zu den Zapfsäulen kann mit einem Not-Ausschalter im Technikraum[50] unterbrochen werden, was für die Abkoppelung der Anlage vom Ereignis hilfreich ist.

50 Fa. Bauer Kompressoren, München

Brennstoffzellen-BHKW

Bei Brennstoffzellen-BHKW handelt es sich um eine neue Technologie, die eingesetzt wird, weil sich gegenüber konventionellen BHKW der elektrische Wirkungsgrad steigern lässt, also die Verteilung auf Wärme und Strom zugunsten des Stroms verschoben werden kann. In der Abwasserreinigungsanlage Neugut in Dübendorf/ZH planen die Stadt Dübendorf und die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich eine erste Anlage dieses Typs. Aktuell befindet sich die Anlage gemäss Auskunft der Betriebsleitung in der Planungsphase. In der Kläranlage Köln Rodenkirchen (Deutschland) wurde bereits im Jahr 2000 eine solche Anlage in Betrieb genommen[51].

Funktionsweise und Gefahren bei einem Brennstoffzellen-BHKW

Eine Brennstoffzelle ist eine galvanische Zelle, in der kontinuierlich zugeführter Brennstoff und ein Oxidationsmittel, meist Sauerstoff, miteinander reagieren und so elektrische Energie und Wärmeenergie freisetzen. Diese lassen sich nutzen, die erzeugte Gleichspannung kann mit einem Wechselrichter zu Wechselstrom umgeformt und ins Elektrizitätsnetz eingespiesen werden. Brennstoffzellen-BHKW's gibt es in verschiedenen Grössen, man findet Handelsprodukte und Testanlagen mit Leistungen von wenigen Kilowatt[52] bis zu einigen hundert Kilowatt[53]. Über Gefahren, die von einer Brennstoffzelle ausgehen, ist wenig bekannt. Die Brennstoffzelle als solche scheint eher unproblematisch zu sein, was man aber von den Brennstoffen nicht behaupten kann. Gasförmige Stoffe wie Wasserstoff oder Methan können explosive Luft-Gas-Gemische bilden.
Grosse Systeme wie das BHKW B 200 des Herstellers ONSI arbeiten mit Betriebstemperaturen von 200° C und erbringen 200 kW elektrische Leistung. Solche Temperaturen erschweren natürlich die Intervention bei einem Störfall, allerdings sind sich Feuerwehren den Umgang mit hohen Temperaturen durchaus gewohnt. Problematischer dürfte hier, wie bereits bei der Photovoltaik, der erzeugte Strom sein. Da ein Brennstoffzellen-BHKW aus galvanischen Zellen aufgebaut ist, kann man die elektrischen Merkmale mit denjenigen von PV-Zellen vergleichen, mit dem Unterschied, dass hier die Elektrizität chemisch und nicht durch Licht gewonnen wird. Eine Brennstoffzelle lässt sich durch Unterbrechung der Brennstoffzufuhr schnell ausschalten. Es empfiehlt sich, eine Brennstoffzelle bei einem Störfall unverzüglich ausser Betrieb zu nehmen, diese stellt dann abgesehen von allfälliger Restwärme keine besondere Gefahr mehr dar.

51 BHKW-Info (2010a)
52 BHKW-Info (2010b)
53 BHKW-Info (2010c)

Geothermie

Oberflächennahe Geothermie

Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Nutzung von Wärme in den oberen Schichten des Bodens, bis zu Tiefen von wenigen hundert Metern unter der Oberfläche. Da die oberen Schichten der Lithosphäre im Temperaturaustausch mit der Atmosphäre stehen, können sie sich im Sommer erwärmen und im Winter auskühlen. In einigen Metern Tiefe, typischerweise ca. 5 bis 10 Meter, resultiert eine im Jahresverlauf annähernd konstante Temperatur, welche der Jahresdurchschnittstemperatur entspricht[54]. Im Winter sind die Schichten wärmer als die Luft, im Sommer kühler. Mit der Erfindung von effizienten Wärme-Kälte-Maschinen war die Idee, den Boden als Wärmequelle für Heizung zu nutzen, schnell geboren. Wärmepumpen ermöglichen es, die Wärme nutzbar zu machen. Sie pumpen ein abgekühltes Medium (meist Wasser mit Frostschutzzusatz) durch Rohrleitungen in die Tiefe, wo dieses Wärme aufnimmt. Anschliessend steigt das Medium wieder auf, die Wärme wird entzogen und für Heizzwecke in einen Heizkreislauf übertragen.

Foto: Heizplan AG

Abb. 21: Oberflächennahe Geothermie wird mit Wärmepumpen genutzt. Diese sind von der Gefährlichkeit her mit einem Kühlschrank vergleichbar.

Wärmepumpenanlagen im Betrieb

Solche Anlagen sind im Betrieb unproblematisch. Bei einem Brand müssen die Sicherheitsvorkehrungen wie für jeden Brand eines Elektrogeräts angewendet werden. Das heisst, wenn möglich spannungsfrei machen und dann die Sicherheitsvorschriften beachten, welche in Tabelle 2, Tabellenverzeichnis, aufgeführt sind.
Die eingesetzten Frostschutzmittel müssen aus Umweltschutzgründen eine geringe Giftigkeit aufweisen, denn sie können bei einem Leck in der Erdsonde ins Erdreich oder ins Grundwasser gelangen. Man spricht beim Kühlmittel dabei von Sole. Der Begriff rührt daher, dass früher häufig Salze als Frostschutz eingesetzt wurden. Wegen der geringeren Korrosionsgefahr kommen heute in der Regel Glykole zum Einsatz[55].

54 Wie Funktioniert Das - Technik - Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG (2003)
55 de.wikipedia.org/wiki/Sole_(Kältetechnik) (abgerufen am 4.1.2011)

Unfälle beim Bau von Anlagen zur Erdwärmenutzung

Erdgasaustritt mit Brand in Oftringen

Völlig unproblematisch ist die oberflächennahe Geothermie nicht immer. Beim Erstellen einer Anlage in Oftringen wurde am 5. Mai 2009 in einer Tiefe von rund 150 Metern eine Gasblase angebohrt. Unglücklicherweise strömte darauf Erdgas aus und entzündete sich. Die Bohrfirma stellte zwar fest, dass Wasser aus dem Bohrloch austrat, und leitete dieses in die Kanalisation ab. Erdgas trat zu diesem Zeitpunkt (kurz vor 19 Uhr) nicht aus. Als kurz vor 20 Uhr auch Kies und Schlick austraten, wollten die Bewohner der Liegenschaft, diese in eine bereitstehende Mulde schaufeln. Mittlerweile trat Erdgas über das Bohrloch aus, welches sich dann vermutlich durch Funkenschlag einer Schaufel entzündete. Eine Person verbrannte sich dabei an Gesicht und Händen schwer, eine weitere leicht. Der grosse Feuerball gefährdete zusätzlich benachbarte Liegenschaften, die alarmierte Feuerwehr Oftringen fasste zunächst den Beschluss, diese zu schützen und das Gas kontrolliert abbrennen zu lassen. Erst gegen 4.30 Uhr am nächsten Morgen konnte das Bohrloch verschlossen werden[56].
Insbesondere bei tieferen Bohrungen ins Erdreich muss jederzeit damit gerechnet werden, dass brennbares Erdgas ausströmen kann. Da Erdgase auch grössere Mengen Schwefelwasserstoff enthalten können[57], ist grosse Vorsicht geboten. Schwefelwasserstoff kann die Geruchswahrnehmung ausschalten und so zu Vergiftungen führen, die tödlich sein können [58]. Es ist dringend anzuraten, bei Unfällen oder besonderen Vorkommnissen die Explosionsgrenzen im Bereich der Bohrung mittels Explosimeter zu überwachen. Eine Überprüfung auf Schwefelwasserstoff am Beginn des Einsatzes oder bei plötzlichem Auftreten von Erdgas kann eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

Artesischer Brunnen in der Wiesbadener Innenstadt

Am 5. November 2009 wurde im deutschen Wiesbaden bei einer Probebohrung im Rahmen eines Erdwärmeprojekts eine Wasserblase angebohrt[59]. In der Folge entstand in der Wiesbadener Innenstadt eine Quelle mit einer Schüttung von bis zu 6000 Litern in der Minute, das Wasser schoss sieben Meter in die Höhe. Die Quelle brachte grosse Schlammmassen an die Oberfläche, eine grossflächige Überflutung resultierte. Glücklicherweise traten weder Erdgas noch Schwefelwasserstoff aus. Die Feuerwehr war aber trotzdem ziemlich gefordert, musste sie doch einerseits bereits entstandene Schäden beheben, also Keller auspumpen und Abflussmöglichkeiten für die Schlammmassen schaffen, andererseits aber auch bei der Abdichtung des Bohrlochs unterstützend mitwirken.

Die beiden Beispiele zeigen exemplarisch die Gefahren, die beim Bohren von Erdsonden auftreten können. Auch wenn die meisten Bohrungen absolut problemlos verlaufen, kann nie ausgeschlossen werden, dass etwas anders läuft wie geplant. Genau in diesem Moment kommt die Feuerwehr ins Spiel, es ist dann von besonderem Vorteil, wenn man sich über mögliche Gefahren bereits im Klaren ist und so die richtigen Massnahmen veranlassen kann.
Bei Erdwärmeanlagen, die sich bereits im Betrieb befinden, sind Rohre ins Bohrloch ein-

56 Lerch Niklaus (2009b)
57 Ueberhorst S. (1994)
58 vgl. Tabelle 1
59 Thurnes Mario (2009)

gezogen, die mit Beton verankert werden. Auf diese Weise ist das Bohrloch gut abgedichtet, Probleme im Zusammenhang mit dem Bohrloch sind selten, kommen aber vor. In Staufen im Breisgau wurde mit einer Erdsonde eine Anhydritschicht, das ist wasserfreier Gips, durchstossen. Durch die Bohrung konnte nun Wasser in den Anhydrit eindringen, worauf sich dieser in die Form mit Kristallwasser umwandelte, was mit einer Quellung einhergeht[60]. Dadurch entstanden Bodenhebungen. Obwohl davon eine Gefährdung ausgeht, ist diese nicht unmittelbar, und daher für Feuerwehren kaum von Bedeutung.

Wärmepumpen können brennbare Gase enthalten

Von der Anlagenseite her sind die Gefahren einer Erdsondenheizung eher gering. Die zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit dürfte kaum in grösseren Mengen austreten, weil sie sich vor allem in der Erdsonde in der Tiefe befindet, und durch die Tatsache, dass auch Grundwasserschichten durchstossen werden, handelt es sich in aller Regel um Sole, die einzig relativ ungefährliche Frostschutzmittel und Wasser enthält. Die Wärmepumpe als solche ist technisch mit einem Kühlschrank zu vergleichen. Allerdings finden aus Umweltschutzgründen seit Mitte der Neunzigerjahre Kältemittel Eingang, die brennbar sind und explosive Luft-Gas-Gemische bilden können. Insbesondere R290 (Propan), R600a (Butan) und R1270 (Propen) sind hier zu nennen. Es handelt sich dabei um leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe, die schwerer als Luft sind und deshalb in Untergeschossen richtige Gas-Seen bilden können. Im Feuerwehralltag kennt man diese Substanzen von Druckgasbehältern her, landläufig auch einfach „Gasflaschen“ genannt. Die Gefahren sind vergleichbar, auch wenn die Hersteller von Wärmepumpen selbstverständlich grosse Anstrengungen unternehmen, um ihre Anlagen komplett gasdicht auszugestalten. Zudem sind die Mengen der verwendeten Kältemittel glücklicherweise klein, bei einem Einfamilienhaus typischerweise zwischen einem und drei Kilogramm[61].

Tiefe Geothermie

Im Gegensatz zu oberflächennaher Geothermie möchte man bei tiefer Geothermie Wärmereservoirs nutzen, die Temperaturen aufweisen, die eine direkte Nutzung für die Verstromung oder für Heizung ohne Einsatz einer Wärmepumpe ermöglichen.
Dabei kann es sich um geothermale Tiefenwässer handeln, oder, wie mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren, um Gesteinsschichten, die sehr heiss, aber trocken sind. Beim HDR-Verfahren wird Wasser in

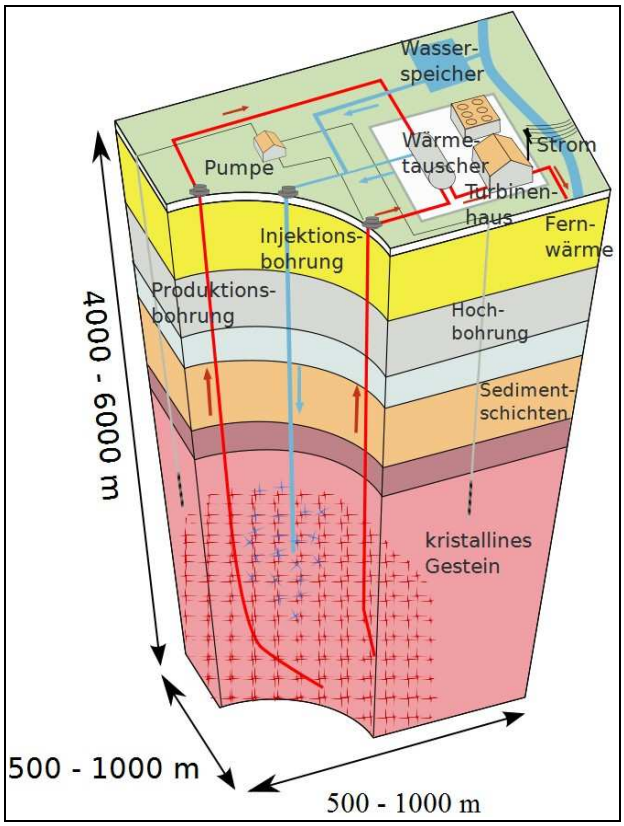


Abbildung: Siemens

Abb. 22: Das Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR): Mit einer Injektionsbohrung wird Wasser in den heissen Fels gepresst. Dadurch erweitern sich Klüfte, und das nun erwärmte Wasser kann in Produktionsbohrungen zur Nutzung abgezogen werden.

60 de.wikipedia.org/wiki/Anhydrit (abgerufen am 4.1.2011)
61 Quaschnig Volker (2006)

heisse Gesteinsschichten injiziert. Durch sehr hohen Wasserdruck wird das Gestein aufgebrochen und über eine zweite Bohrung kann es dann wieder entnommen werden. In Basel, das geologisch zum Oberrheingraben gehört, rechnete man in einer Tiefe von 5000 m, auf welche die Injektionsbohrung abgeteuft wurde, mit ca. 200° C[62]. Bei Injektion von Wasser wird dieses auf die entsprechende Temperatur erwärmt und kann dann nach Verdampfung für den Antrieb einer Dampfturbine verwendet werden.

Foto: Gretar Invarsson / Wikipedia

Abb. 23: In Island werden in sogenannten Hochenthalpielagerstätten durch Vulkanismus entstandene geothermale Tiefenwässer zur Stromproduktion genutzt.

Da es erst wenige Anlagen für tiefe Geothermie gibt, und das geplante Projekt in Basel abgebrochen wurde, sind solche Anlagen in der Schweiz in naher Zukunft kein Thema für die Feuerwehren. Sobald solche Anlagen erstellt werden, muss eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema ins Auge gefasst werden. Gerade die grossen Dampfmengen und die Tatsache, dass man die Hitzeerzeugung nicht abbrechen kann, könnten problematisch sein. Bis dahin werden aus dem Ausland möglicherweise bereits Erfahrungswerte von Feuerwehren vorliegen.

62 Geopower Basel AG, www.geopower-basel.ch (2010)

Windenergie

Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität aus Windkraft sind in der Schweiz bisher wenig verbreitet. Eine zunehmende Verbreitung kann aber beobachtet werden, wobei der Trend zu immer grösseren WEA's geht. Die grössten Anlagen haben heute Rotorendurchmesser von weit über 100 Metern, die Generatoren befinden sind ebenfalls in etwa dieser Höhe[63].

Aufbau von Windenergieanlagen

Windenergieanlagen bestehen hauptsächlich aus einem Turm, auf dem das Maschinenhaus aufsetzt. Am Maschinenhaus sind die Rotorblätter befestigt, meist drei an der Zahl, es werden aber auch Anlagen mit zwei oder mehr als drei Rotorblättern gebaut. Im Maschinenhaus wird eine Leistung von bis zu 5 Megawatt erzeugt, dadurch fliessen sehr grosse Ströme mit gefährlichen Spannungen.

Foto: Dirk Goldhahn / Wikipedia

Abb. 24: Windenergieanlagen in Dänemark

Vorgehen im Einsatz

Windenergieanlagen haben in der Vergangenheit auch schon gebrannt. Dabei zeigte sich, dass aufgrund der grossen Höhe, in der sich das Maschinenhauses befindet, ein Löschangriff nicht möglich war. Der Zugang mit Löschmitteln über eine Treppe zum Brandherd in über 100 Metern Höhe, mit vertikalem Zugang von unten her, macht eine Bekämpfung komplett unmöglich. Die Hanseatische Feuerwehr-Unfallkasse Nord empfiehlt aus diesem Grund, die Brandbekämpfung im Maschinenhaus oder an den Rotorblättern komplett zu unterlassen. Wichtig ist aber eine Absperrung um die Anlage herum, bei der mindestens das Vierfache des Rotordurchmessers abgesperrt werden soll. Es müssen häufig sehr grosse Gebiete abgesperrt werden! Ein Brand des Maschinenhauses wird sich häufig ausbreiten, weil brennende Trümmer abstürzen. Es ist mit grösster Vorsicht vorzugehen. Wenn immer möglich sind abgestürzte Trümmer aus grösserer Distanz zu löschen, da weitere Trümmer jederzeit abstürzen können. Im Zwei-

Foto: Peter Honeder / Wikipedia

Abb. 25: Leiter zum Aufstieg in einer Windenergieanlage

63 Hanseatische Feuerwehr-Unfallkasse Nord (2007)

felsfall sollte man die abgestürzten Trümmer besser ausbrennen lassen, statt grosse Risiken einzugehen!

Bei einem Brand am Anlagenfuss kann situationsabhängig eine Brandbekämpfung vorgenommen werden, allerdings muss dabei strikte auf hochspannungsführende Anlagenteile geachtet werden. Bei Hochspannung darf nicht gelöscht werden, bevor nicht der Anlagenbetreiber die Anlage als spannungsfrei deklariert hat.
Weitere denkbare Einsätze bei WEA's sind Austritt von Getriebe- oder Hydrauliköl. Dabei können bis 1000 Liter austreten. Da bei einem Austritt von Öl von einem mechanischen Defekt ausgegangen werden muss, ist ebenfalls abzusperren. Der Bereich, wo die Einsatzkräfte arbeiten, muss beobachtet werden, bei einer Gefährdung sind die Arbeiten unverzüglich abzubrechen.

Bei einem medizinischen Notfall in der Anlage, beispielsweise wenn sich Personen zu Wartungsarbeiten im Maschinenhaus befinden, dürfen Rettungsarbeiten nur durch ausgebildete Höhenretter vorgenommen werden. Ein Besteigen des Turms durch nicht ausgebildete Feuerwehrleute ist zu unterlassen![64] Ebenso ist ein Einsatz einer Autodrehleiter zu unterlassen. Das Maschinenhaus und mit ihm die Rotoren sind drehbar und können so auf einmal an einer anderen Stelle drehen wie noch kurz zuvor. Um Kontakt mit den Personen im Maschinenhaus aufzunehmen, wird durch die Hersteller bei grossen Anlagen eine Gegensprechanlage installiert, die sich meist auf der Eingangsplattform befindet[65].

In Deutschland gibt es den Arbeitskreis für Sicherheit in der Windenergie. Dieser Arbeitskreis betreibt ein Notfallinformationssystem unter www.wea-nis.de, wobei alle Anlagen mit einer eindeutigen Kennung versehen sind. Ein solches System gibt es in der Schweiz in etwas anderer Form auch. Swiss Eole stellt unter www.wind-data.ch die bestehenden Anlagen inklusive Koordinaten und Kontaktdaten des Anlagenbetreibers zur Verfügung. In Windparks sind allerdings die einzelnen Anlagen nicht verzeichnet, es ist nur eine Koordinate für den ganzen Windpark aufgeführt[66]. Dies ist eine grosse Schwachstelle des Systems, denn bei einem medizinischen Notfall bleibt dem Team eines Rettungswagens nicht die Zeit, alle Anlagen nacheinander anzufahren.
Für die betroffenen Feuerwehren und Rettungsdienste empfiehlt es sich auf jeden Fall, mit dem Anlagenbetreiber Kontakt aufzunehmen und schnell eine Lösung für dieses Problem zu finden.

Foto: userhelp.ch / Wikipedia

Abb. 26: Windenergieanlagen auf dem Mont Crosin (BE)

64 Hanseatische Feuerwehr-Unfallkasse Nord (2007)
65 Huwald Michael (2002)
66 http://www.wind-data.ch/wka/wka.php?wka=MTC (abgerufen am 27.12.2010)

Alternativtreibstoffe für Motorfahrzeuge

Im Bereich der Fahrzeugantriebe fanden in den letzten Jahren verschiedene neue Technologien Verbreitung. Einige, wie die Hybridtechnologie, reduzieren den Ausstoss von Kohlendioxid mittels einer verbesserten Energieeffizienz, andere, wie Biogas, Elektroantrieb oder Autogas substituieren den herkömmlichen Treibstoff komplett, und erzielen mittels dieser alternativen Treibstoffe einen verringerten Ausstoss von Schadstoffen und Kohlendioxid.

Hybridtechnologie

Die Hybridtechnologie verbindet ein ganz normales Auto mit Verbrennungsmotor mit einem Elektromobil. Der Verbrennungsmotor bedarf keiner vertieften Behandlung, denn diese Gefahren sind Feuerwehren bekannt.

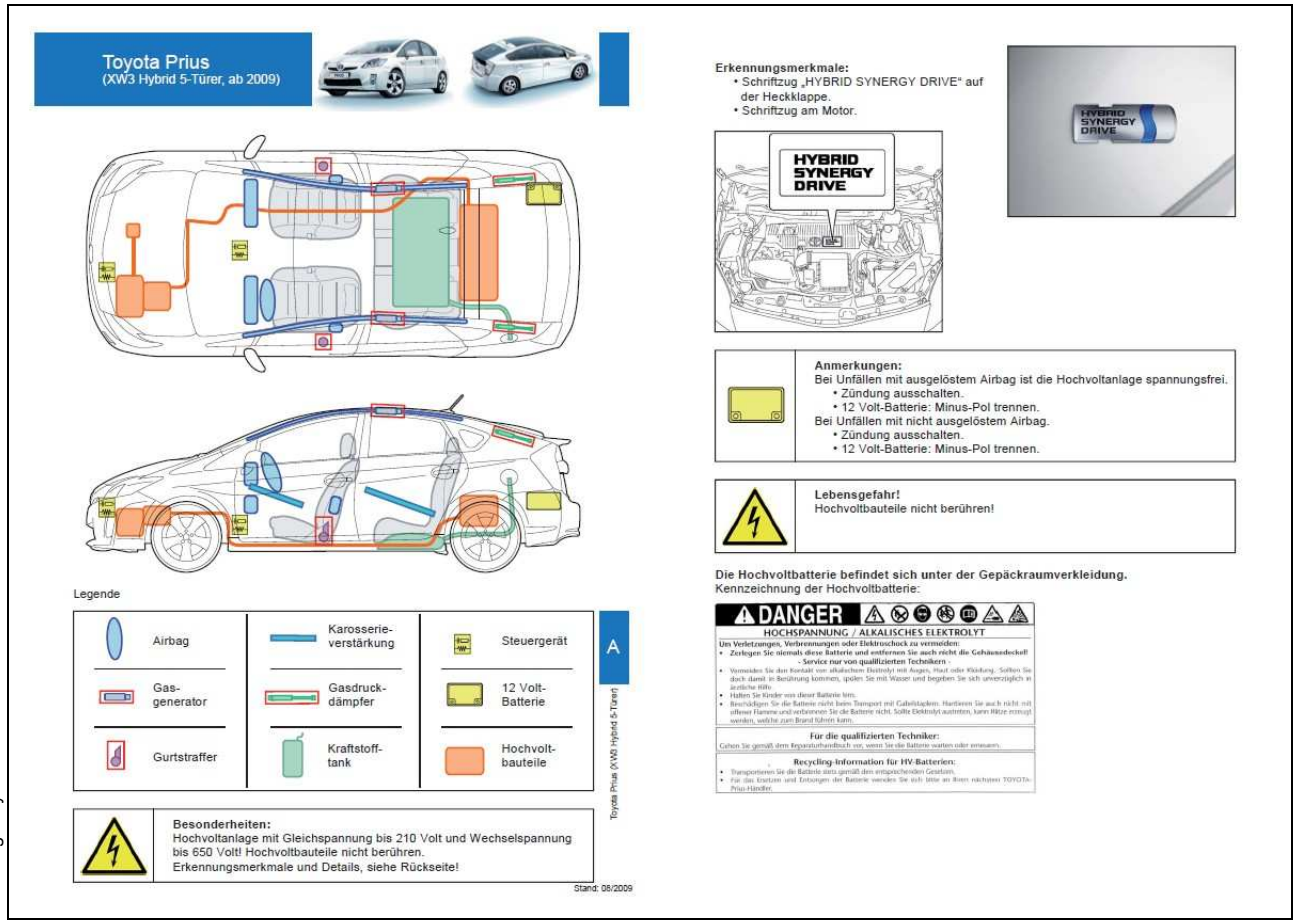


Abbildung: Toyota

Abb. 27: Rettungskarten, hier diejenige des Toyota Prius, geben über den Verlauf spannungsführender Kabel und Batterien Auskunft. Ebenfalls eingezeichnet sind Airbags, Gurtenstraffer, Kraftstofftank und weitere Details.

Wichtiger ist, auf den elektrischen Teil solcher Fahrzeuge einzugehen.
Hybridfahrzeuge können aus der Antriebskraft des Verbrennungsmotors über einen Generator Strom erzeugen, welcher in einer Nickel-Metallhydrid-Batterie zwischengespeichert

wird. Diese NiMH-Batterien sind so ausgeführt, dass sie Spannungen von bis zu 300 oder 400 Volt abgeben können; Kurzschlussspannungen können bis 135 kW betragen[67]. Zusammen mit den sehr grossen Strömen, die in Hybridfahrzeugen erzeugt werden müssen, besteht beim Berühren von Leitungen Lebensgefahr[68]. Glücklicherweise haben die Hersteller solcher Fahrzeuge in den letzten Jahren einiges für die Sicherheit getan. Bei Toyota beispielsweise wird der Hochvolt-Spannungsbereich (nicht zu verwechseln mit Hochspannung) deaktiviert, sobald der Airbag auslöst[69]. Bei Honda (Modell Civic) scheint dies nicht der Fall zu sein, zumindest fehlen solche Angaben auf der Rettungskarte[70].

Foto: Wikipedia (Benutzer S 400 HYBRID)

Abb. 28: Der Toyota Prius ist das am meisten verbreitete Hybridfahrzeug.

Die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Rettungskarten sind hilfreich. Viele Feuerwehren setzen aber auf elektronische Lösungen, die einen noch höheren Nutzen haben, weil dort detaillierte Angaben gemacht werden. Auf einer Rettungskarte fehlt dafür der Platz. Falls weder Rettungskarte noch elektronische Lösung zur Verfügung steht, sollte die Bedienungsanleitung des Fahrzeugs konsultiert werden, die von den meisten Lenkern mitgeführt wird. In Einzelfällen wird sich die Rettungskarte auf der Sonnenblende finden; Automobilverbände empfehlen, diese dort zu hinterlegen[71]. So sollte zumindest der Netztrennschalter gefunden werden können, mit dem der Hochvoltbereich getrennt werden kann. Dazu sind geprüfte Elektrikerhandschuhe, bestehend aus Kevlarhandschuhen gegen die Einwirkungen von Lichtbogen und darüber isolierenden Gummihandschuhen, zu tragen. Die Brandschutzkleidung ist geschlossen zu halten, und das Helmvisier muss heruntergeklappt werden.
Die hochvoltigen Bauteile sind glücklicherweise bei den bisher in Serie produzierten Fahrzeugen in einheitlicher oranger Farbe gehalten. Es ist anzunehmen, dass sich weitere Hersteller an diesen Quasi-Standard halten dürften, was die Arbeit der Feuerwehren sehr erleichtert.
Selbst wenn die Hochvoltbereiche des Fahrzeugs deaktiviert sind, gehen Gefahren von der Batterie aus. NiMH-Batterien, die in Hybridfahrzeugen verbaut werden, enthalten Kaliumhydroxid. Dabei handelt es sich um eine der potentesten Laugen, die man kennt. Die Substanz gehört zu den stärksten ätzenden Stoffen und schädigt Haut, Augen, Schleimhäute und Atemwege, falls man damit in Berührung kommt. Beschädigte Batterien in Hybridfahrzeugen dürfen nicht mit herkömmlicher Feuerwehrausrüstung berührt werden. Es muss mit säure- und laugenfesten Gummihandschuhen gearbeitet werden, und weiterer Körperschutz ist notwendig. Zumindest ein leichter C-Schutz und eine Schutzbrille gehören deshalb beim Umgang mit solchen Stoffen zum Standard. Im ERI-Card Verzeichnis wird für alkalische Batterieflüssigkeiten zusätzlich umluftunabhängiger Atemschutz vorgeschlagen[72].

67 Lerch Niklaus (2009a), S. 49
68 Autobild, 16. April 2010
69 Toyota Prius Rettungskarte, beziehbar unter www.toyota.de/kundenservice/rettungsleitfaeden.aspx
70 Honda Civic Rettungskarte, beziehbar unter www.honda.de/content/service/car/service_rettungsdatenblaetter.php
71 Tagesanzeiger online, 7. Oktober 2010
72 ERI-Card 8-03 (2011)

Neben dem Gehalt an ätzenden Chemikalien können sich solche Batterien aufgrund der hohen Energiedichte bei Zerstörung entzünden oder bei Erwärmung explodieren. Eine Kühlung des Fahrzeugs unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften nach Tabelle 1 (siehe Tabellenverzeichnis) mit Sprühstrahl macht Sinn.

Foto: Matthias93 / Wikipedia

Abb. 29: Der Honda Civic ist ebenfalls ziemlich verbreitet

Rettungen von Personen aus einem zerstörten Hybridfahrzeug gehören sicherlich zu den anspruchsvolleren Aufgaben einer Feuerwehr. Wo im Normalfall die Rettung absolute Priorität hat, muss hier zuerst sichergestellt werden, dass für die Retter keine Gefahr mehr besteht. Zuerst soll die Zündung ausgeschaltet werden, was Feuerwehren bei einer Strassenrettung auch bei anderen Fahrzeugen als Erstes machen. Anschliessend, genau gleich wie bei herkömmlichen Fahrzeugen, wird die Minusklemme von der 12-Volt-Batterie getrennt, anschliessend die Plusklemme. Dadurch wird die Bordelektronik spannungsfrei gemacht und der Hochvoltteil sollte durch die Bordelektronik ausgeschaltet werden. Wo vorhanden, ist der Netztrennschalter zu trennen (Elektrikerhandschuhe & Brandschutzkleidung!).

Ein ganz wichtiger Aspekt ist bisher noch nicht behandelt worden – wie erkennt man ein Hybridfahrzeug? Dazu gibt es leider kein Standardrezept. Das Einfachste ist, wenn eine Rettungskarte oder ein elektronisches System zur Strassenrettung zur Verfügung steht. Wenn dies nicht der Fall ist, muss man sehr vorsichtig sein! Bei den meisten Herstellern lässt sich über die Beschriftungen auf der Heckklappe oder auf dem Motorblock etwas über die Antriebsart erfahren. Steckt das Wort „Hybrid“ in der Bezeichnung, wie bei Toyota/Lexus, ist die Sache schnell klar. Bei einer Bezeichnung wie IMA – Integrated Motor Assist, die bei Honda auf dem Motorblock zu finden ist, gestaltet sich die Interpretation schon schwieriger. Auch Honda bringt seit 2005 zwar auf der Heckklappe die Bezeichnung „Hybrid“ an, doch werden solche Bezeichnungen von einzelnen Autobesitzern entfernt, oder können bei einem Brand oder Unfall zerstört werden und nicht mehr leserlich sein. Die kritischen Teile in den Fahrzeugen sind wohl mit Warnetiketten (Batterie) oder oranger Farbe (Schalter und Kabel) gekennzeichnet, aber auch diese Kennzeichnungen können zerstört werden.

Selbst wenn man ein elektronisches System benutzt, wo die Fahrzeugtypen mit genauen Angaben vermerkt sind, kann es Sinn machen, die Rettungskarten der häufigen Hybridfahrzeuge stets mitzuführen, denn auch ein Laptop kann einmal ausfallen. Da macht es Sinn, nach der Rettungskarte zu arbeiten, statt blind zu vertrauen, dass es schon klappen wird.

Elektrofahrzeuge

Gerade bei Zweirädern beginnen sich Elektroantriebe zunehmend durchzusetzen. Die Fahrzeugtechnik hat Fortschritte gemacht, die es erlauben, Fahrräder, Roller und Motorräder mit elektrischen Antrieben auszurüsten. Diese Entwicklung wird zweifelsohne auch bei Autos kommen, in welchem Umfang ist allerdings unklar, weil es eine enorme

Vielfalt an möglichen, umweltschonenden Antrieben gibt. Die Gefahren sind im Wesentlichen dieselben wie bei Hybridfahrzeugen, dort werden ein Benzinmotor und ein Elektrofahrzeug kombiniert, bei reinen Elektrofahrzeugen fällt der Benzinmotor weg. Die elektrischen Einrichtungen sind vergleichbar, und somit gelten die für Hybridfahrzeuge erwähnten Gefahren auch für Elektrofahrzeuge. Unterschiedlich ist, dass Elektrofahrzeuge noch nicht in grossen Serien produziert werden und die Standardisierung deshalb geringer ist. Anders ausgedrückt könnte man auch sagen, unliebsame Überraschungen sind eher zu erwarten, gerade auch, weil die Kabel möglicherweise nicht in warnendem Orange gehalten sind. Allerdings sind auch hier Verbesserungen zu erwarten, denn die Serienfertigung von reinen Elektrofahrzeugen bei den grossen Autokonzernen steht mit Chevrolet Volt oder dem Opel Ampera und weiteren Modellen unmittelbar bevor. Dies wird mit Sicherheit auch zu einer höheren Standardisierung führen.

Foto: IFCAR / Wikipedia

Abb. 30: Der „Chevrolet Volt“ wird rein elektrisch angetrieben. Sobald die Batterien leer sind, schaltet sich ein Verbrennungsmotor zu, der über einen Generator die Batterie wieder aufladen kann. Ausser bei sehr langen Strecken wird der „Volt“ aber ausschliesslich mit Energie aus der Steckdose gespiesen. Man spricht dabei vom sogenannten Plugin-Hybrid-Konzept, welches den klassischen Elektrofahrzeugen sehr nahe kommt.

Gasfahrzeuge

Bei Gasfahrzeugen müssen verschiedene Typen unterschieden werden, da in diesem Zusammenhang Gas ein sehr weiter Begriff ist. Als Gasfahrzeuge bezeichnet man üblicherweise Fahrzeuge, die mit Methan (Erdgas / Biogas) oder mit Flüssiggas (Propan, Butan und Gemische der beiden) als Motorentreibstoff arbeiten. Flüssiggas wird unter dem Handelsnamen Autogas oder als LPG (Liquified Petroleum Gas[73]) verkauft. Bei Methan spricht man von Erdgas, Biogas oder CNG (Compressed Natural Gas). Methan (Biogas und Erdgas) wird in gasförmigen Zustand bei einem Druck von 200 bar getankt, Autogas wird in flüssigem Zustand getankt, bei ca. 5-10 bar Druck[74], abhängig von der Temperatur. Flüssiggase bilden Dämpfe, die schwerer als Luft sind und deshalb auf den Boden absinken, wohingegen Methan leichter als Luft ist und deshalb aufsteigt und sich relativ schnell verflüchtigt.

Foto: Nicole J. Seitz

Abb. 31: Fahrzeuge, die mit Alternativenergien angetrieben werden, unterscheiden sich in der Bauweise äusserlich nicht von herkömmlichen Fahrzeugen.

Beide Antriebsarten arbeiten mit Druckbehältern, in denen der Treibstoff mitgeführt wird. Bei Autogas befindet sich der Tank häufig in der Reserveradmulde, Erdgastanks sind bei Serienfahrzeugen unter dem Fahrzeug angebracht, bei nachträglichen Umbauten, die besonders schwer zu erkennen sind, im Kofferraum. Nachträgliche Umbauten zeichnen sich dadurch aus, dass jedes Fahrzeug unterschiedlich ist. Serienfahrzeuge sind bei Autogas zwar auch nachträgliche Umbauten, sie werden vom Hersteller ab Werk vorgenommen, und sind deshalb einheitlich.

Die Erkennung eines Gasfahrzeugs ist am einfachsten über die Tankvorrichtung oder durch Warnhinweise im Motorraum. Bei Serienfahrzeugen befindet sich die Tankvorrichtung in der Regel unter dem selben Tankdeckel, wo auch Benzin getankt werden kann. Eine Kupplung ohne Gewinde ist dabei in der Regel ein NGV-1-Anschluss und wird für Erdgas verwendet. Eine solche mit Gewinde deutet auf Autogas hin, dies gilt aber nur für in der Schweiz immatrikulierte Fahrzeuge. Die Tankstutzen für Autogas können sich auch in der Stossstange oder an anderen Orten

Foto: Schutz & Rettung Zürich

Abb. 32: Bei einem Unfall im Juni 2005 auf der Autobahn A3 war ein Fahrzeug mit LPG-Tank in einen Unfall verwickelt. Der Tank wurde dabei freigelegt, aber glücklicherweise nicht beschädigt. Der Tank wurde von der Feuerwehr ausgebaut und in sicherer Distanz konnte das Gas dann abströmen.

73 Andere Quellen sprechen auch von „Liquid Pressed Gas“, „Low Pressure Gas“ oder „Liquified Propane Gas“, gemeint ist damit immer verflüssigtes Propan/Butan.

74 The Merck Index, Substanz 7982 (1996)

des Fahrzeugs unter einer Abdeckung befinden. Es macht Sinn, ungewöhnliche Abdeckungen zu öffnen, und zu sehen, was sich darunter verbirgt. Besonders nachträgliche Umbauten können den Tankstutzen für Gas an eher ungewohnten Orten haben. Häufig wurde dieser auch unter der Motorhaube im Motorraum angebracht.

Die Gastanks müssen bei beiden Fahrzeugtypen über Sicherheitsventile verfügen, um im Brandfall das Gas rechtzeitig, also vor Erreichen einer Berstgefahr des Tanks, abblasen zu können. Dabei können kurzzeitig Feuerlanzen entstehen, die gegen den Boden, nach hinten oder am Fahrzeughinterteil zur Seite gerichtet sind. Der sicherste Standort für einen Angriffstrupp bei einem Gasfahrzeug ist deshalb in der vorderen Fahrzeughälfte oder mit Abstand von mindestens 5-10 Metern.

Druckgasbehälter, die erhitzt sind, sollten mit reichlich Wasser gekühlt werden. Da sich diese bei Serienfahrzeugen in der Regel unter dem Fahrzeug befinden, kann ein Hydroschild mit wenig Wasserdruck von vorne unter das Fahrzeug geschoben werden. Glücklicherweise setzen sich Composite-Gasbehälter je länger je mehr durch. Diese können nicht mehr bersten, sondern werden bei Hitze zunehmend undicht, worauf das Gas durch die Behälterwand ausströmt und kontinuierlich verbrennt[75].

Abb. 33: Mit Autogas (LPG) betriebene Fahrzeuge sind keine an und für sich neue Erscheinung. Die Technik geriet allerdings in Vergessenheit und erlebte in den letzten Jahren eine Rückkehr. (Bild: Herbert Blunck, 30. Oktober 1948, aus dem Deutschen Bundesarchiv, Bild 183-R96092)

Austretendes Erdgas ist relativ problemlos, sofern es sich nicht entzündet. Es verflüchtigt sich aufgrund der geringen Dichte schnell, die Gefahr einer Explosion ist klein. Anders ist dies bei Autogas (Propan/Butan). Es ist schwerer als Luft und kann sich in Schlammsammlern und Mulden lange halten, Explosionsgefahr kann die Folge sein[76]. Im Bereich der Unfall- oder Brandstelle können Schlammsammler mit Kunststofffolie abgedichtet werden, Gas kann sich dann nicht dort sammeln. Flüssiggastanks können je nach Situation sogar ausgebaut werden[77], bei Erdgastanks ist dies nicht möglich, da das Gas nach einem Öffnen des Tanks mit hohem Druck in kurzer Zeit abströmt. Dies wäre äusserst gefährlich, denn durch einen Druck von 200 bar können selbst Kieselsteine zu tödlichen Geschossen werden.

Bioethanol

Ethanol ist ein Alkohol, welcher bei 78°C siedet und eine Dichte hat, die leicht höher als diejenige von Benzin ist. Ethanol ist mit Benzin mischbar, und gelangt häufig als Gemisch,

75 Baumann Heinz (2009)
76 Baumann Heinz (2006)
77 Jud Beat und Aerne Heinz (2006)

beispielsweise unter der Bezeichnung E-85, in den Handel. In den notwendigen Vorsichtsmassnahmen unterscheiden sich Benzin und Ethanol kaum, beide bilden explosive Gemische mit Luft. Da Ethanol eine deutlich geringere Giftigkeit als Ottokraftstoff besitzt, die Zündtemperatur höher ist und er sich in jedem Verhältnis mit Wasser mischen lässt[78], darf er als weniger problematisch wie Benzin bezeichnet werden und kann sogar mit Wasser gelöscht werden, denn bei fortlaufender Verdünnung mit Wasser wird die Verbrennung irgendwann abbrechen. Die Gefahr eines Boil-overs besteht nicht, da die Siedetemperatur von Ethanol tiefer als diejenige von Wasser ist. Selbstverständlich ist Schaum ein besser geeignetes Löschmittel, zumal Autos, die mit Bioethanol fahren können, auch mit handelsüblichem Benzin betankt sein können, und man deshalb nie genau weiss, was sich im Tank befindet.

Biodiesel

Als Biodiesel werden biosynthetische Kraftstoffe bezeichnet, welche meist durch Umesterung von Rapsöl mit Methanol gewonnen werden. Der so gewonnene RME (Rapsmethylester) weist einen signifikant höheren Flammpunkt als herkömmlicher Diesel auf. Er ist mit Diesel in jedem Verhältnis mischbar und von ähnlicher Viskosität. Gelangt er als reiner Biodiesel in den Handel, wird er häufig als R100 bezeichnet[79].

Es können aber auch Ester anderer Fettsäuren (zum Beispiel aus Altöl) in den Handel kommen. Zudem finden Verfahren (BtL, CtL, GtL) Anwendung, um vollsynthetische Kraftstoffe aus Biomasse, Kohle oder Gas herzustellen.

Foto:Ch.Pagenkopf / Wikipedia

Abb. 34: Aus Pflanzenölen wird durch Umesterung der Fettsäuren Rapsmethylester gewonnen und als Biodiesel in den Handel gebracht.

Für die Verbrennung in einem herkömmlichen Dieselmotor müssen die Eigenschaften der synthetischen Kraftstoffe ähnliche Spezifikationen haben, wie Diesel. Sie enthalten in der Regel weniger Benzen und andere Aromate. Zudem ist der Schwefelgehalt deutlich geringer. Dies führt zu einer geringeren Giftigkeit und einem höheren Flammpunkt.
Fahrzeuge, die mit Biodiesel betrieben werden, stellen für die Feuerwehren deshalb keine grössere Gefahr als Fahrzeuge mit herkömmlichem Diesel dar. Natürlich muss auch bei Biodiesel darauf geachtet werden, dass der Treibstoff nicht in die Umwelt gelangt oder in Brand gerät. Der höhere Flammpunkt von in der Regel über 130° C gegenüber von circa 60° C bei herkömmlichem Diesel hat praktisch kaum Auswirkungen. Insbesondere fein verteilter Biodiesel (zum Beispiel auf Ölbinder) ist ebenfalls erheblich leichter zu entzünden als eine Lache.

78 Frunder et. al. (1995), S. 184
79 http://de.wikipedia.org/wiki/Rapsmethylester (abgerufen am 4.1.2011)

Wasserstoffantrieb

Beim Antrieb mit Wasserstoff gibt es die Möglichkeit, diesen direkt in einem Ottomotor zu verbrennen, oder ihn mittels einer Brennstoffzelle zu nutzen. Da ein Ottomotor für Feuerwehren eine bekannte Technologie ist, wird darauf nicht gesondert eingegangen. Brennstoffzellen werden im folgenden Abschnitt behandelt, hier wird nur auf die spezifischen Gefahren und Risiken von Wasserstoff an Bord eines Fahrzeugs eingegangen.
Wasserstoff hat extreme Eigenschaften. So ist er das leichteste Gas, welches es gibt. Auch sind die beiden Explosionsgrenzen äusserst weit voneinander entfernt. So besteht zwischen 4 und 75%-Vol. Wasserstoff in Luft Explosionsgefahr[80]. Nur wenige andere Gase erreichen ähnlich extreme Werte oder übersteigen diese sogar noch. Diese beiden Kombinationen machen Wasserstoff äusserst gefährlich. Ein leichtes Molekulargewicht korreliert direkt mit hohen Diffusionsgeschwindigkeiten und einer schnellen Verteilung im Raum. Da bereits 4 Volumenprozent in Luft explosiv sind und Wasserstoff farb-, geruchs- und geschmacklos ist, wird die untere Explosionsgrenze sehr schnell überschritten, ohne dass man das irgendwie wahrnehmen könnte.
Wasserstoff wird in Experimentalfahrzeugen häufig flüssig getankt und hat eine extrem tiefe Temperatur, die bis -252,5°C erreichen kann. Beim Kontakt besteht sehr schnell die Gefahr von Kälteverbrennungen, auch wenn nur ein Behälter mit Wasserstoff berührt wird, bei dem beispielsweise durch einen Unfall die Isolation beschädigt wurde. Eine beschädigte Isolation wird zu einer schnellen Erwärmung des Tanks führen und Wasserstoff verdampft in grossen Mengen. Dies führt zu einer Druckerhöhung im Behälterinnern, worauf normalerweise über Sicherheitsventile im Dach- oder Heckklappenbereich[81] Wasserstoff abgeführt wird und dann im näheren Umkreis schnell eine hohe Explosionsgefahr existiert.

Brennt austretender Wasserstoff, wird die Flamme bis 2500°C heiss. Sie ist im Sonnenlicht nicht sichtbar[82], kann aber mit einer Wärmebildkamera erkannt werden. Brennender Wasserstoff sollte, wie andere Gase, nicht gelöscht werden. Besser wird die Brennstoffzufuhr unterbrochen, oder allenfalls das Gas kontrolliert abgebrannt und umliegende Objekte durch Kühlung geschützt.

Eine andere Gefahr ist die Beschädigung von Druckgastanks, welche mit Drücken von bis zu 700 bar betrieben werden. Bei einer mechanischen Beschädigung setzt ein solcher Druckgastank eine enorme Energie frei.

Brennstoffzellen

Eine erste Betrachtung von Brennstoffzellen ist bereits im Kapitel Biogas erfolgt, denn Brennstoffzellen sollen in Blockheizkraftwerken zum Einsatz kommen. Insbesondere von der Automobilindustrie werden Brennstoffzellen auch als Technologie der Zukunft gehandelt, denn die platzsparenden Zellen lassen sich gut zur Stromgewinnung aus flüssigen und gasförmigen Brennstoffen nutzen. Elektromotoren können dann Fahrzeuge und Schiffe antreiben.

80 Frunder et. al. (1995), S. 657*f*.
81 Lerch Niklaus (2009a)
82 Geitmann Sven (2004), S. 124

Zum heutigen Zeitpunkt ist wenig über die Gefahren von Brennstoffzellen bekannt. Die Technologie ist in ständiger Weiterentwicklung, auch Gefahrenmomente verändern sich mit den verwendeten Brennstoffen. Frank Seyfried, Leiter der Abteilung Brennstoffzelle und Kraftstoffe bei Volkswagen verneint aber eine Gefährdung durch Brennstoffzellen, und setzt den Start der Serienproduktion solcher Fahrzeuge auf frühestens 2020 fest[83].

Foto:HDP / Wikipedia

Abb. 35: Eine Brennstoffzelle, die im Kofferraum eines Experimentalfahrzeugs eingebaut wurde.

Auch wenn von der Brennstoffzelle als solche keine Gefahr ausgehen sollte, sind die elektrischen Gefahren, die diese Fahrzeuge mit sich bringen werden, nicht zu unterschätzen. Die Hybridtechnologie gibt uns sicherlich bereits einen guten Vorgeschmack dessen, was zu erwarten ist.

83 Flehmer Thomas (2009)

Schlussfolgerungen

Alternativenergien haben zurecht einen guten Ruf. Sie sind umweltfreundlich, nachhaltig und ressourcenschonend. All diese Vorteile dürfen aber nie darüber hinweg täuschen, dass auch Anlagen im Alternativenergiebereich erhebliche Gefahrenpotentiale aufweisen. Die Gefahren sind häufig nicht direkt wahrnehmbar, deshalb muss sich jede Feuerwehr rechtzeitig damit auseinandersetzen und solche Anlagen regelmässig beüben. Im Rahmen einer Übung kann mit dem Anlagenbetreiber in aller Ruhe über Funktionsweise, Gefahren und Risiken gesprochen werden. Im Einsatz ist dazu keine Zeit mehr, sonst rennt man den Geschehnissen nur noch hinterher. Dies sind denkbar schlechte Voraussetzungen, um einen Einsatz zu einem erfolgreichen Ende zu bringen.

Auch wenn die Diskussion primär von der Polemik um die Sonnenenergienutzung in Gang gebracht wurde, ist es längst nicht die einzige Form von alternativer Energie, die ein Gefahrenpotential aufweist. Sehr illustrativ ist das Beispiel der Nutzung von Biogas. Hier sind die Gefahren mannigfaltig! Giftgase, elektrische Gefahren, Explosionsgefahren und eine potentiell hohe Brandlast kommen zusammen und machen eine Biogasanlage zu einem für die Feuerwehr gefährlichen Einsatzbereich. Obwohl die einzelnen Gefahren an und für sich beherrschbar sind, ist es die Neuartigkeit, das Unbekannte und die Kombination daraus, was die Gefahrenerkennung erschwert. Die Komplexität solcher Anlagen tut das Übrige, sodass es für eine Feuerwehr ohne detaillierte Orts-, Gebäude- und Anlagenkenntnisse extrem schwierig werden wird, solche Einsätze zu einem erfolgreichen Ende bringen zu können.

Die Gefahren der Sonnenenergienutzung wurden schon an vielen Orten diskutiert und Fachleute nahmen dazu Stellung. Trotzdem dauert die Meinungsbildung immer noch an, in einzelnen Einschätzungen kommen Technik- und Feuerwehrexperten zu unterschiedlichen Schlüssen. So konnte die von Finis et al. (2010) vertretene Meinung, dass Vollmondlicht über Photovoltaikanlagen lebensgefährliche Ströme erzeugen könne, anhand der zugrundeliegenden Physik sowie der Leistungskenndaten ausgewählter Produkte als nicht stichhaltig zurückgewiesen werden.
In den Kinderschuhen steckt hingegen die Nutzung von Solarchemie. Dabei werden mit Licht chemische Prozesse in Gang gebracht, und Energie auf diese Weise direkt in Molekülen gespeichert. Es lohnt sich auf jeden Fall, die weiteren Entwicklungen hier zu verfolgen. Marktreif ist die Technologie im Moment nicht, sie wird einzig von wenigen Forschungsaufbauten genutzt und besitzt daher im Moment keine Relevanz für die Feuerwehren.

Obwohl Windkraft in der Schweiz bisher eine untergeordnete Rolle spielt, gibt es Anlagen und ganze Windparks. Wichtig ist dabei, dass solche Anlagen für Feuerwehren ohne Höhenrettungsgruppe nicht erreichbar sind. Die Maschinen und Rotoren befinden sich bei grossen Anlagen in Höhen, die mit Drehleitern und Hubrettungsfahrzeugen nicht erreichbar sind. Bei einem Brand besteht eine grosse Gefahr durch abstürzende Trümmer.

Brennstoffzellen sind bisher auf mögliche Gefahren, die von ihnen ausgehen, kaum erforscht worden. Heutige Aufbauten haben meist noch eher experimentellen Charakter, weshalb Zwischenfälle, meist unter „noch nicht ausgereift“ abgebucht werden. Ob Brennstoffzellen in einem grösseren Massstab Gefahren bergen, die bisher nicht erkannt wurden, ist unklar. Eine Untersuchung zu Gefahren und Risiken, die Brennstoffzellen im tägli-

chen Einsatz bergen, wäre auf jeden Fall wünschenswert. Sicherlich wird man aus Erfahrungen mit der Technologie, genauso wie das bei der Photovoltaik geschehen ist, Folgerungen ableiten können. Obwohl bereits Brennstoffzellen an verschiedenen Orten verbaut werden, können plötzlich andere Treibstoffe zum Einsatz kommen und so die Gefahrensituation schlagartig verändern.

Literaturverzeichnis

Aargauisches Versicherungsamt (2005): Lagerung von Holzspänen, -schnitzeln und -pellets. Aargauisches Versicherungsamt, Abteilung Brandschutz. Abrufbar im Internet: http://ava.vision-it.ch/objects/Brandschutz/Merkblaetter/Lagerung_von_Holzspaenen_schnitzeln_pellets.pdf?970 (abgerufen am 10.12.2010)

Baumann Heinz. (2006): Erdgasfahrzeuge im Vormarsch. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 12.2006, S. 15f.

Baumann Heinz. (2009): Composite-Gas-Flaschen bersten bei Brand nicht. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 10.2009, S. 26f.

Beppler Dirk. (2007): „Natürliche Energiewirtschaft“ - Pflanzen und Solarzellen. SWR Fernsehen, Stuttgart, 21.06.2007. Abrufbar im Internet: www.swr.de/odysso/-/id=1046894/nid=1046894/did=2405826/wa16rm/index.html

Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L. (2007): Biochemie. 6. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, München, S. 736ff, ISBN 978-38274-1800-5.

BHKW-Info. (2010a): EXPO 2000: Einsatz von Klärgas in einer Brennstoffzelle. www.bhkw-info.de/brennstoffzellen/klaergas_brennstoffzelle.pdf (abgerufen am 27.12.2010)

BHKW-Info. (2010b): Hausenergie-Versorgung mit 5kW_{el}-PEM-Brennstoffzellen. www.bhkw-info.de/brennstoffzellen/zsw-brennstoffzelle.html (abgerufen am 9.11.2010)

BHKW-Info. (2010c): BHKW B 200. www.bhkw-info.de/brennstoffzellen/ees-brennstoffzelle.html (abgerufen am 9.11.2010)

Biegelmeier, Kieback, Kiefer, Krefter. (2003): Schutz in elektrischen Anlagen*. Band 1: Gefahren durch elektrischen Strom. 2. Auflage.* VDE-Verlag, Berlin 2003, ISBN 3-8007-2603-3.

Budavari Susan; O'Neil Maryadele J., Smith Ann, Heckelman Patricia E., Kinneary Joanne F. (1996): The Merck Index, Merck & Co. Ltd (Hrsg.), Whitehouse Station (NJ). 12. Ausgabe.

Denzler Jürg (2000): Grünschnitzelsilos. - Hrsg: Suva – Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern. Bestellnummer 66050.d.

Duo et. al. (1992): Kinetics of the gas-phase reaction between nitric oxide, ammonia and oxygen, Can. J. Chem. Eng. **70**, 1014-1020

ERI-Card (2011): Emergency Response Intervention Cards - Verband der Europäischen chemischen Industrie (CEFIC), abrufbar im Internet: www.ericards.net (abgerufen am 4.1.2011)

Erny Max et al. (1994): Energie aus Restholz – Ein Leitfaden für holzverarbeitende Betriebe. Hrsg: Bundesamt für Konjukturfragen, Bern, 1994.

Finis, Schmid, Koch. (2010): Hinweise zu Einsätzen an Gebäuden mit Photovoltaikanlagen. - In: Baukunde, Hrsg: Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg, Bruchsal, abrufbar im Internet: www.lfs-bw.de/fachthemen/einsatztaktik-fuehrung/documents/hinweise_photovoltaikanlagen.pdf (abgerufen am 27.9.2010)

Flehmer, Thomas. (2009): Brennstoffzellenfahrzeuge stellen keine Gefahr dar. Interview mit Frank Seyfried. - In: Autogazette, 25. Oktober 2009, abrufbar im Internet: www.autogazette.de/interviews/258926.html (abgerufen am 7.12.2010)

Frunder Barbara, Hillen Elisabeth, Rohlf Ute. (1995): Wörterbuch der Chemie, Deutscher Taschenbuchverlag, München, 1995

Geitmann Sven. (2004): Wasserstoff & Brennstoffzellen – Die Technik von morgen. Hydrogeit Verlag, Kremmen, 2004.

GESTIS-Stoffdatenbank des IFA unter http://biade.itrust.de, abgerufen am 21. Oktober 2010

Giersberg Achim. (2010): „Kontrolliert abbrennen lassen". - In: Bocholtner-Borkener Volksblatt, 6.8.2010, abrufbar im Internet: http://www.bbv-net.de/aktuelles/muensterland/1368256_Kontrolliert_abbrennen_lassen.html (abgerufen am 3.1.2011).

Grünenwald Isabelle. (2008): Kaminbrände. Von der Feuerwehr oft unterschätzt. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 1.2008, S. 23f.

GVZ. (2004): Brandbekämpfung. Gebäudeversicherung Kanton Zürich (Hrsg.)

Hanseatische Feuerwehr-Unfallkasse Nord, Abteilung Prävention. (2007): Windenergieanlagen (WEA) – ein Einsatz für die Feuerwehr? - In: Feuerwehr, Heft 11/07, abrufbar im Internet: http://www.hfuknord.de/wDeutsch/pdf/FW1107-HFUK.pdf (abgerufen am 27.12.2010)

Hanus, Bo. (2007): Wie nutze ich Solar & Windenergie in der Freizeit und im Hobby? Franzis Verlag GmbH, Poing, 2007.

Hegi Fabian. (2010): Riesige schwarze Rauchsäule über der City. - In: 24 h, Mitarbeitermagazin von Schutz und Rettung Zürich, Heft 7, Mai 2010, S. 12-14.

Huwald Michael. (2002): Das neue Windenergieanlagen-Notfallinformationssystem (WEA-NIS). - In: Wind Kraft Journal, Heft S/2002, S. 12-13.

Jud Beat, Aerne Heinz. (2006): Unfall mit gasbetriebenem Fahrzeug. Routineeinsatz mit Überraschung. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 2.2006, S. 27-29.

Karl Jürgen. (2006): Dezentrale Energiesysteme: Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, S. 394.

Karlson-Stiber C. et al. (2008): Clinical Toxicology 2008; 46: 354

Lerch Niklaus. (2009a): SFV-Kurs: Fahrzeuge mit alternativen Treibstoffen! Ein Kurs für alle Sinne. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 6.2009, S. 49-51.

Lerch Niklaus. (2009b): Gasblase angebohrt. Zwei zum Teil schwer verletzte Personen bei Gasbrand. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 7.2009, S. 14.

Macher Julia (2008): Die Katastrophe von Los Alfaques. Abrufbar im Internet: http://www.dradio.de/dlf/sendungen/kalenderblatt/812554/ (abgerufen am 7.12.2010)

Meyer B., Boehme C. (1994): Formaldehyd-Abgabe von natürlich gewachsenem Holz. Holz-Zentralblatt 120, 1969ff.

Mignot Claudio, Sommer Ralf, Häberlin Heinrich. (2010): Gefahr auf dem Dach. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 11.2010, S. 33-37.

Quaschnig Volker. (2006): Renaissance der Wärmepumpe. - In: Sonne, Wind & Wärme, Heft 09/2006, S. 28-31. Im Internet abrufbar: www.volker-quaschning.de/artikel/waermepumpe/index.php.

Rüsi Clara. (2009): Zug mit Flüssiggas entgleist – Grossbrand. - In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 10.2009, S. 7-9.

Schmid Marcel. (2010): Photovoltaik ist nicht ungefährlich. - In: Sicherheit, Heft 2010_4, S. 20-21.

Solarportal24. (2011): Röhrenkollektor explodiert. http://www.solarportal24.de/nachrichten_11791_roehrenkollektor_explodiert.html (abgerufen am 5.1.2011)

Svedberg U., Samuelsson J., Melin S. (2008): Hazardous off-gassing of carbon monoxide and oxygen depletion during ocean transportation of wood-pellets. In: PubMed, 2008, 52(4), Seiten 259-266, im Internet abrufbar unter: www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=search&term=18397907.

Svedberg U., Högberg H., Högberg J., Galle B. (2004): Emission of hexanal and carbon monoxide from storage of wood pellets, a potential occupational and domestic health hazard. In: PubMed, 2004, 48(4), Seite 381, im Internet abrufbar unter: www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=search&term=15191943

Thurnes, Mario. (2009): Wiesbaden unter Wasser. In: Frankfurter Rundschau, 6.11.2009. Im Internet abrufbar unter: www.fr-online.de/rhein-main/wiesbaden/wiesbaden-unter-wasser/-/1472860/3113608/-/index.html.

Ueberhorst S. (1994): Energieträger Erdgas, S. 50, Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie.

Voss Klaus D. (2010): Ständig unter Strom, Solardächer sind brandgefährlich. - In: Der Tagesspiegel, abrufbar im Internet: http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/immobilien/staendig-unter-strom-solardaecher-sind-brandgefaehrlich/1884850.html (abgerufen am 10.12.2010)

Weege Thomas. (2010): Unter Spannung. - In: Feuerwehrmagazin, Heft 8/2010, S. 46-51.

Will Marcel. (2006): Unfall in Biogasanlage. In: Schweizerische Feuerwehrzeitung, Heft 4.2006, S. 6-11.

ohne Verfasser. (2003): ***Wie Funktioniert Das? - Technik***, 5. Auflage, Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, Mannheim, S. 278, ISBN 3-411-08855-9.

ohne Verfasser. (2010): ***Merkblatt M-001 Brandschutz bei Biogasanlagen***, Fachverband Biogas e.V. (Hrsg.)

ohne Verfasser. (2010): ***„Der Brand war Chance und Rückschlag zugleich“***. - In: Powernewz, Dialogmagazin von ewz, 15.09.2010, abrufbar im Internet: www.powernewz.ch (abgerufen am 31.10.2010)

ohne Verfasser. (2010): ***Brand im Kreis 5.*** - In: Tagesanzeiger. 03.04.2010, abrufbar im Internet: www.tagesanzeiger.ch/zuerich/stadt/Brand-im-Kreis-5/story/11330886 (abgerufen am 31.10.2010)

ohne Verfasser. (2010): ***Eine Anleitung, die Leben retten soll.*** - In: Tagesanzeiger. 07.10.2010, abrufbar im Internet: www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/Eine-Anleitung-die-Leben-retten-soll/story/30978855 (abgerufen am 7.10.2010)

ohne Verfasser. (2009): ***Vergiftungsgefahr durch Holzpellets***. Schweizerisches Toxikologisches Informationszentrum (Hrsg.). Pressemitteilung. Zürich, 12. Januar 2009.

ohne Verfasser. (2010): ***Photovoltaik: Solarstrom und Solarzellen in Theorie und Praxis***. - abrufbar im Internet: www.solarserver.de/wissen/basiswissen/photovoltaik.html (abgerufen am 05.12.2010)

ohne Verfasser. (2010): ***Retter fürchten Stromschläge***. - In: Autobild, 16.04.2010, abrufbar im Internet: www.autobild.de/artikel/unfaelle-mit-hybridautos-1162489.html (abgerufen am 05.12.2010)

Tabellenverzeichnis

10 ppm	Augenreizungen
10 bis 100 ppm	Geruch widerlich, Irritative Wirkung, schwere Störungen im Zentralnervensystem
100 ppm	Vergiftungserscheinungen bereits nach < 1 Stunde, Ausfall der Geruchswahrnehmung, akute Intoxikationsgefahr
500 ppm	Schnelle Vergiftungserscheinungen, tödlich nach ca. 30 Minuten
1000 ppm	Unmittelbare Atemlähmung, Bewusstlosigkeit, tödlich innert Minuten
5000 ppm	Tödlich innerhalb weniger Sekunden

Tabelle 1: Vergiftungswirkungen von Schwefelwasserstoff[84]

	Brand elektrischer Anlagen	
	Niederspannung	Hochspannung
	AC < 1000 Volt DC < 1500 Volt	AC > 1000 Volt DC > 1500 Volt
Wasser Vollstrahl	nein	Anlage muss vor dem Löschen zuerst spannungsfrei gemacht werden.
Wasser Sprühstrahl	1 Meter Mindestabstand	
Schaum	nein	
AB-Pulver	1 Meter Mindestabstand	
B-Pulver	1 Meter Mindestabstand	Merksatz: WAM (Warnen – Absperren – Melden)
D-Pulver	nein	
Kohlendioxid	1 Meter Mindestabstand	
Light Water AFFF	1 Meter Mindestabstand	

Tabelle 2: Löschvorschriften für elektrische Anlagen [85] [86]

84 GESTIS-Stoffdatenbank
85 GVZ (2004), S. 13
86 Mignot, Sommer, Häberlin (2010)

Anhang

Im Anhang befinden sich Merkblätter, die aus dieser Arbeit hervorgingen. Sie sprechen als Zielpublikum Feuerwehrleute an, und sollen Wissen vermitteln, welches in der Arbeit nach wissenschaftlichen Kriterien zusammengetragen wurde. Die Merkblätter sind ganz bewusst nicht in einer der wissenschaftlichen Schreibweise folgenden Struktur gehalten, um die Lesbarkeit zu optimieren. Die Quellen sind für Feuerwehrleute im Einsatzgeschehen nicht relevant, wichtig ist, dass Wissen in konzentrierter Form zusammengefasst ist und schnell die wichtigen Punkte gefunden werden können. Aus diesem Grund sind die Kernaussagen aller Merkblätter am Ende noch einmal zusammengezogen, die resultierende Liste eignet sich, um sie in einem Ordner mit Einsatzdokumenten mitzuführen. Diese Liste ist mehr eine Gedankenstütze, um das im Text vermittelte Wissen während eines Einsatzes wieder abrufen zu können.

Photovoltaik und Solarthermie

Die Kraft der Sonne

Nicht nur bei einem Brand bergen Solarmodule und -kollektoren auf dem Dach Gefahren für Feuerwehrleute. Wenn einige Sicherheitsregeln beachtet werden, kann auch ein Ereignis, wo Solarenergie involviert ist, erfolgreich gelöst werden.

Solarenergie ist bei den Feuerwehren schon zu einem richtigen Schlagwort geworden. Halbwahrheiten und Gerüchte machen die Runde, die Verunsicherung ist entsprechend gross. Richtig ist, dass alternative Energieformen für die Feuerwehren eine Herausforderung darstellen, da ihre Zahl stetig steigt. Auch wenn viel über Photovoltaik geredet und geschrieben wird, ist nicht alles was man hört, korrekt. Selbst in Fachkreisen ist die Verunsicherung gross und Gefahren werden zu optimistisch oder pessimistisch eingeschätzt. Deshalb entstand der vorliegende Artikel im Rahmen einer Bachelorarbeit an der ETH Zürich, wo durch eine Studentin der Umweltnaturwissenschaften, die gleichzeitig Offizierin bei der Milizfeuerwehr in Zürich ist, alternative Energieträger im Hinblick auf ihr Gefahrenpotential für die Feuerwehren untersucht wurden.

Was ist überhaupt Photovoltaik?

Unter einer Photovoltaikanlage versteht man denjenigen Teil der Sonnenenergienutzung, wo aus einfallendem Licht Strom produziert wird. Im Gegensatz dazu spricht man von Solarthermie, wenn die Anlage zur Produktion von Wärme, beispielsweise zum Aufwärmen eines Boilers, genutzt wird. Die beiden Anlagentypen lassen sich mit etwas Übung von Auge unterscheiden, denn die Module, welche aus Licht Wärme oder Strom produzieren, sehen unterschiedlich aus.

Insbesondere bei Flachdächern besteht allerdings die Problematik, dass Anlagen zur Nutzung von Sonnenenergie nicht immer zu erkennen sind. Von der Strasse her kann auch eine grosse Anlage komplett im Verborgenen liegen. Eine nicht erkannte Anlage kann aber auch nicht ausgeschaltet werden, selbst wenn die technische Möglichkeit bestehen würde. Es zeigt sich einmal mehr, wie wichtig insbesondere beim Einsatzleiter detaillierte Orts- und Gebäudekenntnisse sein können.

Elektrizität als vorrangige Gefahrenquelle

Die Produktion von sauberer elektrischer Energie aus Sonnenstrahlung mittels Photovoltaik birgt verschiedenen Risiken.

Elektrische Gefahren, deren Abschätzung aber schwierig ist, wenn man sich nicht eingehend mit der Materie beschäftigt hat, werden häufig genannt.

Auch in Fachkreisen ist man sich nicht immer einig, stellt sich doch die Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg auf den Standpunkt, dass Mondlicht gefährliche Ströme in einer Photovoltaikanlage entstehen lasse. Ein Artikel in der Schweizerischen Feuerwehrzeitung

Foto: Nicole J. Seitz

Foto: Heizplan AG

Photovoltaik (oben) und Solarthermie (unten) können meist von blossem Auge unterschieden werden. Bei Photovoltaik-Anlagen sind die Siliziumscheiben, in denen Strom entsteht, erkennbar. Solarkollektoren produzieren Wärme mittels eines schwarzen Absorbers und sind deutlich dicker und mit einer Glasscheibe abgedeckt. Zudem sind bei Solarthermieanlagen meist Rohranschlüsse erkennbar.

vom November 2010 bestreitet dies jedoch energisch. Die der Photovoltaik zugrunde liegende Physik lässt tätsächlich darauf schliessen, dass selbst Vollmondlicht nicht in der Lage

sein dürfte, Spannungen und Ströme zu generieren, die nur annähernd in den lebensgefährlichen Bereich kommen. Richtig ist aber, dass es bereits bei Lichteinfall aus öffentlicher Beleuchtung oder der Schadenplatzausleuchtung völlig anders aussehen kann. Selbst das von einem Brand stammende Licht kann im schlechtesten Fall einen gefährlichen Strom erzeugen.

Löschen ist möglich

Der Brand in der Nähe einer Photovoltaikanlage ist keine unlösbare Herausforderung. Obwohl bei Lichteinfall stets einzelne Teile der Anlage unter Spannung stehen, es handelt sich hierbei um Gleichstrom, werden maximal 1000 Volt erreicht. Die Tatsache, dass die Gefährlichkeit von Gleichstrom kleiner ist als diejenige von Wechselstrom mit derselben Spannung, kommt einem hier entgegen. So darf davon ausgegangen werden, dass Gleichstrom um einen Faktor vier bis fünf weniger gefährlich ist wie Wechselstrom. Folglich ist eine Photovoltaikanlage nicht gefährlicher als das Stromnetz mit 230 Volt. Dennoch gelten Gleichspannungen ab 120 Volt für einen ungeschützten Menschen als gefährlich. Der fliessende Strom kann ein Herzkammerflimmern auslösen und dadurch zum Herzstillstand führen. Eine Loslass-Schwelle, oberhalb derer man stromführende Teile nicht mehr Loslassen kann, kennt man, im Gegensatz zum Wechselstrom, beim Gleichstrom nicht. Gleichstrom wirkt ganz anders auf den menschlichen Körper als Wechselstrom, daher kommt seine geringere Gefährlichkeit. Es wäre aber fatal, zu glauben, dass keine Gefahr besteht! Der für die Feuerwehr wichtige Unterschied ist, dass bei 1000 Volt Gleichstrom ein Löschen mit Sprühstrahl, im Abstand von mindestens einem Meter, problemlos möglich ist. Für Vollstrahl soll ein Mindestabstand von 5 Metern nicht unterschritten werden.

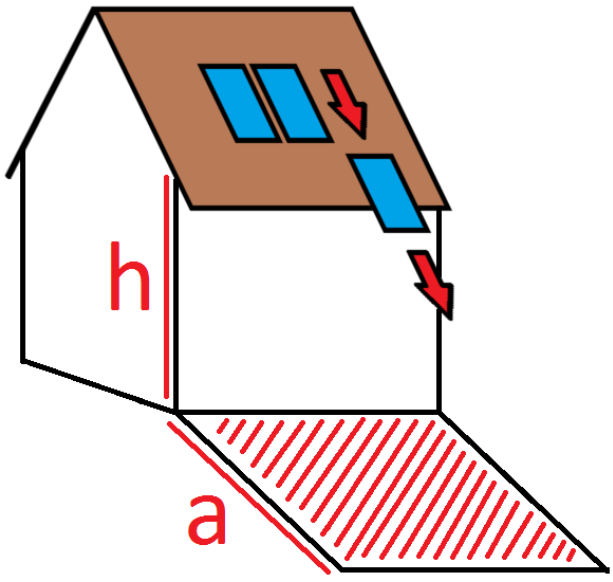
Gebäudeöffnungen schaffen

Dachstockbrände unter einer Photovoltaikanlage stellen Feuerwehren vor besondere Herausforderungen. Einerseits möchte man Dachöffnungen schaffen, um die Wärme abzuführen, andererseits darf die Photovoltaikanlage wegen der anliegenden Spannung nicht mit brachialer Gewalt zerstört werden. Eine mögliche Lösung ist, die Gebäudeöffnung auf der Nordseite des Dachgiebels zu schaffen, denn Photovoltaik-Anlagen sind immer südausgerichtet.

„Self“, ein energieautarker Container, der im April 2010 an der Zürcher Ausstellungsstrasse brannte, war mit etlichen Quadratmetern Photovoltaik ausgerüstet, die wegen des Rauches erst gar nicht erkannt werden konnten.

Foto: Johannes Dietschi

Absturzgefahr
Module von Anlagen zur Sonnenenergienutzung sind häufig mittels einer Montagevorrichtung auf dem Dach befestigt. Diese ist meist aus Metall, häufig verwendet werden eloxiertes Aluminium oder verzinkter Stahl. Gerade bei Photovoltaik-Anlagen können sogar Holzgerüste zum Einsatz kommen. Gemeinsam ist allen Materialien, dass sie bei Hitzeeinwirkung früher oder später an mechanischer Stabilität einbüssen. Dadurch können einzelne Module oder die ganze Anlage abstürzen. Besonders gefährdet ist der Bereich direkt unter Schrägdächern mit Anlagen zur Sonnenenergienutzung. Das Eigengewicht der Module bildet eine zusätzliche Dachlast, welche viel früher zum Einsturz des Dachstocks oder Teilen davon führen kann.
Module können aber nicht nur vom Dach stürzen, sondern ebenfalls ins Gebäudeinnere fallen. Für einen AS-Trupp im Innenangriff stellen sie deshalb ein erhöhtes Risiko dar**,** zumal abstürzende Module Rohre und Kabelleitungen mit sich reissen können.



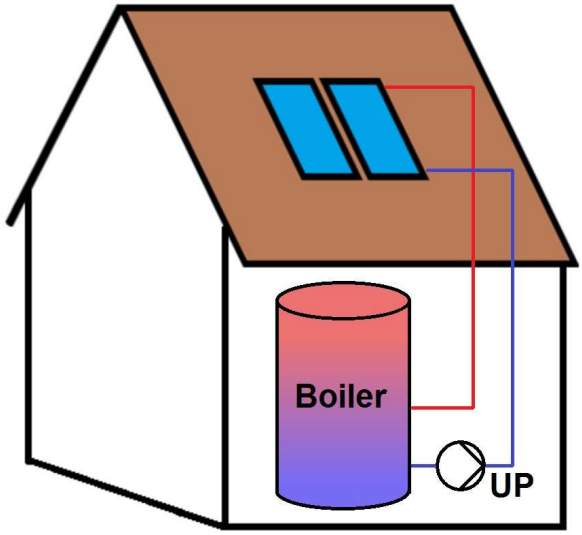
Abstürzende Module gefährden den Bereich unterhalb des Dachs. Deshalb an den Trümmerschatten denken und frühzeitig eine Absperrung veranlassen, die zumindest so weit vom Gebäude wegreicht, wie dieses bis zur Dachkante hoch ist.

Bei Stürmen und Gewittern können Module, insbesondere solche, deren Halterungen durch Korrosion oder ungeeignete Befestigung nicht mehr sicher mit dem Gebäude verbunden sind, ohne Vorwarnung abstürzen oder weggeweht werden. Die grosse Fläche bietet dem Wind gute Möglichkeiten zum Angreifen, sodass Module sogar über den Dachgiebel geblasen werden können. Dies sollte bei Sturmeinsätzen in der unmittelbaren Umgebung von Solaranlagen nicht vergessen werden.

Dampf und brennende Splitter
Beide Typen von Anlagen zur Sonnenenergienutzung, also Solarthermie und Photovoltaik, werden bei grosser Hitzewirkung zerstört. Wo bei Solarthermie vorallem Glassplitter und überhitzter Dampf entstehen können, lösen sich Photovoltaik-Anlagen häufig in ihre Einzelteile auf. Die folienartige Beschichtung kann sich ablösen und die heissen Fetzen fliegen weit umher und kühlen nur langsam aus. Die enthaltenen Siliziumscheiben bersten in der Hitze und die Splitter können ebenfalls umhergeschleudert werden.

Gefahr durch Wasser
Dringt Löschwasser oder durch ein Elementarereignis Wasser aus einem Gewässer in einen Technikraum einer Photovoltaikanlage ein, kann eine Spannung auf das Wasser gelangen. Ein Wasserspannungsprüfer, wie ihn viele Feuerwehren bereits einsetzen, ist in einem solchen Fall eine wichtige Hilfe. Mit diesem Gerät kann festgestellt werden, ob im Wasser eine gefährliche Spannung lauert.
Überdies kann sich an beschädigten Kontakten einer Photovoltaikanlage das Wasser zersetzen, es entsteht Knallgas, welches mit lautem Knall explodieren kann. Allerdings verflüchtigt sich der entstehende Wasserstoff in der Regel sehr schnell, gute Duchlüftung kann den Prozess unterstützen.

Inselanlagen
Einen Spezialfall stellen Inselanlagen dar. Sie sind vom Stromnetz abgekoppelt und finden dort Verwendung, wo sonst kein Strom zur Verfügung stehen würde. Inselanlagen arbeiten meist mit sehr kleinen Spannungen von 12 oder 24 Volt.
Diese Spannungen stellen keine Lebensgefahr dar, allerdings können auch hier Lichtbogen auftreten. Unter Gleichspannung sind Lichtbögen sehr stabil und lange andauernd, sie können über mehrere Minuten oder sogar Stunden bestehen bleiben.



Schematischer Aufbau einer Solarthermieanlage: In den Solarkollektoren wird ein wässriges Wärmeträgermedium durch Sonneneinstrahlung erhitzt. Eine im Kreislauf integrierte Umwälzpumpe (UP) bewirkt, dass das Medium im Kreis zirkuliert. Die Wärme wird vom Dach abgeführt und mittels eines Wärmetauschers auf den Boiler oder Speicher übertragen. Anschliessend strömt das Medium wieder zurück aufs Dach, wo es von neuem erhitzt wird.

Durch einen Lichtbogen entstehen sehr hohe Temperaturen und extrem helles Licht. Die Gefahr einer Schädigung der Netzhaut oder von Verbrennungen besteht, gerade bei hohen Strömen. Auch hier muss deshalb Abstand gehalten werden und es sollte vermieden werden, in den Lichtbogen zu schauen.

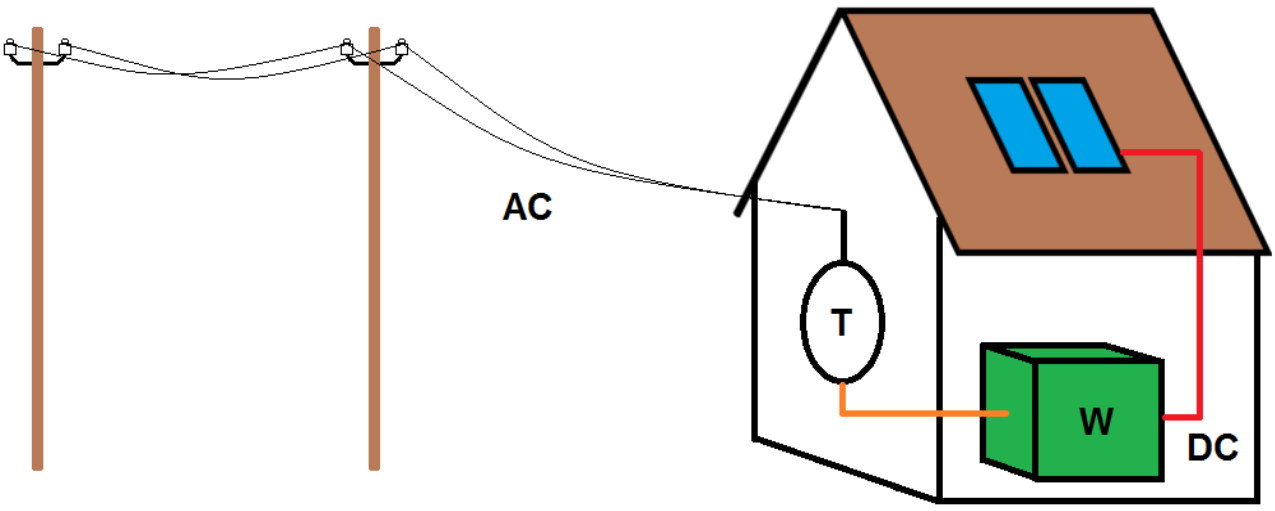
Da man mit Inselanlagen nicht die Möglichkeit hat, zuviel produzierten Strom ans Netz abzugeben, wird dieser in Akkumulatoren und Batterien gelagert. Akkumulatoren zeichnen sich durch eine sehr grosse Energiedichte aus, bei Beschädigung können sie zu brennen beginnen oder giftige und ätzende Stoffe wie Schwefelsäure freisetzen.

Inselanlagen, wie sie in Schrebergärten, Alphütten und Wohnmobilen installiert werden, sind häufig mit einem Wechselrichter gekoppelt. Dieser wandelt die 12 oder 24 Volt Gleichstrom zu einer Wechselspannung von 230 Volt um. Dies bedeutet Gefahr durch einen elektrischen Schlag. Der Wechselrichter sollte deshalb wenn möglich von der Anlage getrennt werden.

Fazit

Solaranlagen sind eine Herausforderung. Wenn eine solche Anlage bei einem Einsatz involviert ist, hilft beim Finden der richtigen Entschlüsse sehr, wenn man sich bereits mit dem Thema beschäftigt hat. Die Unterscheidung einer Photovoltaik- und einer Solarthermieanlage kann sonst für den Laien unmöglich sein. Mit einer angepassten Vorgehensweise sind beide Technologien beherrschbar. Es empfiehlt sich unbedingt, das Wissen über solche Anlagen in Übungen zu vermitteln, und bestehende Anlagen zu besichtigen. So ist es auch einem Atemschutztrupp, der auf eine Photovoltaikanlage trifft, möglich, diese als Gefahr zu erkennen und einzuordnen.

Nicole J. Seitz, Milizfeuerwehr Zürich



Schematischer Aufbau einer Photovoltaikanlage: Von den Photovoltaikmodulen fliesst Gleichstrom (DC) mit bis zu 1000 Volt Spannung in den Wechselrichter (W). Dort findet eine Umformung zu 230-Volt-Wechselstrom (AC) statt. Auf der AC-Seite gibt es einen Trennschalter (T), mit dem die Anlage vom öffentlichen Stromnetz abgekoppelt werden kann. Ein solcher Schalter fehlt auf der DC-Seite häufig.

■ ACHTUNG

Grundsätzliches

- Photovoltaikanlagen auf einem brennenden Gebäude sind bei richtigem Vorgehen ein beherrschbares Risiko
- Ist die Anlage unbeschädigt, geht von ihr keine Gefahr aus
- Obwohl Spannungen bis 1000 Volt erreicht werden können, ist Gleichstrom weniger gefährlich als Wechselstrom. Die Gefahr ist vergleichbar mit einem nicht ausgeschalteten Wechselstrom-Netz mit 230 Volt.
- Mondlicht alleine bedeutet keine Gefahr

Erste Massnahmen

- Grossräumige Absperrung des Schadenplatzes, insbesondere Trümmerschatten unter den Modulen absperren
- Trennen der Anlage vom Stromnetz (falls möglich), und falls vorhanden DC-Trennschalter betätigen
- Achtung: Auch nach Trennung vom Netz und den Gleichrichtern steht die Anlage bis zum Trennschalter unter Spannung
- Sicherungen oder Sicherungsautomaten auf der Wechselstromseite ausschalten

Vorgehen im Einsatz

- Löschen nur mit Mindest-Sicherheitsabstand: Sprühstrahl 1 Meter, Vollstrahl 5 Meter
- Keine Schaltvorgänge und Manipulationen an der Anlage vornehmen (Lichtbogengefahr)
- Manipulationen ausschliesslich durch ausgebildetes Elektroberufspersonal
- Keine blanken Drähte und Leitungsenden berühren
- Photovoltaikmodule keinesfalls betreten, Gefahr abzurutschen oder einzubrechen besteht
- Module nicht berühren! Falls zwingend notwendig nur mit Werkzeugen mit langen, gut isolierenden Stielen (zum Beispiel trockenes Holz oder Kunststoff)
- Licht vom Ereignis oder der Schadenplatzbeleuchtung bedeuten auch nachts eine gewisse Gefahr, deshalb die Regeln auch im Dunkeln befolgen

Spezialfall Inselanlage

- Batterien enthalten Schwefelsäure und andere giftige und brennbare Stoffe. Batterien wenn möglich in Sicherheit bringen. Minus-Klemme (schwarz) vor der Plus-Klemme trennen
- Wechselrichter können vorhanden sein und eine gefährliche Wechselspannung erzeugen

Wasser im Technikraum

- Mit Wasserspannungsprüfer testen
- Wechselrichter vom Stromnetz trennen (AC-Trennschalter, Sicherungen)
- Module mit dem DC-Trennschalter vom Wechselrichter trennen

Solarthermie

- Rohrleitungen nicht beschädigen, Verbrühungsgefahr durch heissen Dampf und Überdruck!
- Anlage kann meist mit Überdruckventil entlastet werden (Brandschutzkleidung wegen Verbrühungsgefahr, Vorgang wiederholen)
- Module nicht mit Gewalt zerstören oder betreten, Röhrenkollektoren können sogar explodieren

Holzenergie

Pellets, Schnitzel & Co.

Dass Holzpelletsheizanlagen tödliche Gefahren bergen können, ist den meisten Feuerwehrleuten nicht bekannt. Im Januar 2010 kam es im deutschen Remscheid zu einem tödlichen Unfall.

Der vorliegende Artikel entstand im Rahmen einer Bachelorarbeit an der ETH Zürich, wo durch eine Studentin der Umweltnaturwissenschaften, die gleichzeitig Offizierin bei der Milizfeuerwehr in Zürich ist, alternative Energieträger im Hinblick auf ihr Gefahrenpotential für die Feuerwehren untersucht wurden.

Remscheid, in den Mittagsstunden des 27. Januar 2010. Ein Anlagenplaner und der Vertreter der Bauherrschaft betreten den Holzpellets-Bunker der grössten derartigen Heizung im Wohnungsbau in Europa. Nichts deutet darauf hin, dass sich gerade ein Unglück anbahnt. Kohlenmonoxid ist ein farb und geruchloses Gas, die 150 Tonnen Pellets, die in den Vortagen angeliefert wurden, haben es in grösserer Menge freigesetzt, die beiden Männer brechen zusammen, einer stirbt.
Holz ist ein Brennstoff, der erneuerbar ist, die einheimische Holzwirtschaft profitiert ebenfalls davon. Eine rundum saubere Sache, wenn nicht auch in der Holzfeuerungstechnik neue Produkte Einzug gehalten hätten, deren Gefahren bisher unbekannt waren.

Die grosse Oberfläche machts
Holzpellets werden aus Sägereinebenprodukten wie Sägemehl oder Sägespänen hergestellt. Pellets sind sehr klein und haben eine enorme Oberfläche, was die Ausgasung von Abbauprodukten enorm begünstigt. In einer schwedischen Untersuchung wurden in einem Lagerraum Konzentrationen von Kohlenmonoxid von fast 15'000 ppm gefunden. Diese Konzentration ist mit Sicherheit in einem sehr kurzen Zeitraum bereits tödlich. Ausgasung ist in geringerem Masse auch für Hackschnitzel ein Thema, diese werden aber häufig in Form sogenannter Grünschnitzel ausgeliefert, und gären im Lagersilo nach. Dabei entsteht vor allem das erstickende Kohlendioxid. Umluftunabhängiger Atemschutz ist folglich in Lagersilos für Hackschnitzel und Pellets immer Pflicht. Eine gute Durchlüftung, beispielsweise durch Überdruckbelüftung ist empfehlenswert.

Rückbrand im Silo
Da bei Hackschnitzel- und Pelletsheizungen der Brennstoff automatisch aus einem Silo gefördert wird, besteht die Gefahr eines Rückbrands. Auch wenn neue Anlagen sehr ausgeklügelte Mechanismen besitzen, um genau dies zu verhindern, kommen Rückbrände dann und wann vor.

Foto: Nicole J. Seitz

Eine Hackschnitzelheizung mit Fördereinrichtung. Hier besteht die Gefahr eines Rückbrands bis in den Vorratssilo.

Bei einem Rückbrand entsteht wegen des Sauerstoffmangels im Silo meist ein Schwelbrand, dessen Bekämpfung häufig einige Schwierigkeiten macht. Allerdings sind bei den

Fördereinrichtungen Löschwasserventile vorgesehen, sodass der Zugang zur Förderschnecke erleichtert wird. Leider zeigt sich, dass in vielen Anlagen auf dieses Ventil verzichtet wurde. Zur Verhinderung von Rückbränden befinden sich ebenfalls Temperatursensoren in der Fördereinrichtung, worauf die Anlagensteuerung entsprechend reagiert.

Explosionsgefahr

Hackschnitzel und Pellets sind staubig, und können, wenn sie gefördert, geschaufelt oder sonst bewegt werden, viel Staub in die Luft bringen. Es besteht die Gefahr einer Staubexplosion. Um dies zu verhindern, kann der Staub mit einem feinen Wasser-Sprühnebel gebunden werden. Zusätzliche Überdruckbelüftung (eventuell mit einer Lutte) führt dazu, dass der Staub ins Freie transportiert wird und sich dort soweit verteilt, dass keine Gefahr mehr besteht.

Foto: Nicole J. Seitz

Enorm hohe Brandlasten sind im Bereich eines Holzlagers vorhanden, durch mechanische Einwirkung kann viel Staub entstehen, eine Staubexplosion droht. (Biomassekraftwerk Richi, Weiningen ZH)

Biomassekraftwerke

Holz, insbesondere auch Altholz, wird wegen der grossen darin enthaltenen Energiemengen in Holzkraftwerken verwertet. Man bezeichnet diese auch als Biomassekraftwerke. Da diese Anlagen spezifisch auf den Betrieb mit Holz ausgelegt sind, können viel höhere Wirkungsgrade bei der thermischen Verwertung erreicht werden, wie wenn das Holz in einer herkömmlichen Kehrichtverbrennungsanlage verwertet würde. Zudem können reine Holzverbrennungsanlagen mit einer Nature-made-Star-Zertifizierung ausgezeichnet werden, womit der Strom teurer verkauft werden kann. Diese Fakten haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren etliche Holzheizkraftwerke entstanden sind, und es ist damit zu rechnen, dass weitere folgen werden.

Vom Aufbau der Anlage her gleichen Biomassekraftwerke für die Altholzverwertung sehr dem Aufbau einer Kehrichtverbrennungsanlage. Nach der Anlieferung wird das Holz zerkleinert, dann verbrannt, und mit der entstehenden Hitze produziert man heissen Dampf, der eine Dampfturbine antreibt und so Strom erzeugt. Die Abgase müssen gereinigt werden, dazu durchlaufen sie zuerst einen Elektrofilter, wo grössere Aschepartikel abgesondert werden. Der Elektrofilter steht unter Spannung und muss vor einer Intervention in diesem Bereich durch den Anlangebetreiber ausgeschaltet werden. Anschliessend gelangen die Rauchgase in die Rauchgaswäsche. Dort werden Schwefeldioxid, Schwermetalle und weitere Stoffe gebunden. Dabei entstehen Abwässer, die ebenfalls einer Behandlung bedürfen, insbesondere muss der pH-Wert neutralisiert werden und die Schwebepartikel müssen vor der Einleitung in die Kanalisation entfernt werden.

Foto: Nicole J. Seitz

Die Rauchgasreinigung in einem Biomassekraftwerk ist etwa gleich aufwändig wie in einer Kehrichtverbrennungsanlage. Zuerst wird Flugasche mit einem Elektrofilter (ganz rechts) entfernt und dann die Rauchgaswäsche durchlaufen. (Biomassekraftwerk Weiningen)

Für all diese Prozesse sind gefährliche Chemikalien wie Schwefelsäure, Natronlauge, Ammoniaklösung und Eisensalze notwendig. Gerade Säure und Lauge sind sehr stark ätzend und

können bei einem Austritt weitere unerwünschte Folgereaktionen auslösen, weshalb hier grösste Vorsicht geboten ist.

Ausschaltevorgang dauert Stunden

Die Anlage ist, abgesehen von der Rauchgasreinigung, eine riesengrosse Holzheizung. Entsprechend hoch sind die entstehenden Temperaturen. In der ganzen Anlage muss bei Defekten mit austretendem, überhitztem Dampf gerechnet werden. Das Abschalten des gesamten Prozesses beendet die Gefahr nicht, denn ein solches Werk braucht vom Zeitpunkt, an dem die Anlage heruntergefahren wird, bis zum völligen Stillstand mehrere Stunden.

Foto: Nicole J. Seitz

Im Generatorraum wird aus heissem Dampf Strom produziert. Hier sind Gefahren durch heissen Dampf und durch Elektrizität gross. (Biomassekraftwerk Weiningen)

Gefahren im Lagerbereich

Wo viel Holz verbrannt wird, muss auch eine beträchtliche Menge gelagert werden. Um die Brandeigenschaften im Ofen zu verbessern, wird Holz häufig mechanisch zerkleinert. Die damit zusammenhängende Verbesserung der Brandeigenschaften wirkt sich aber nicht nur im Ofen aus, für das Vorratslager gilt dies genauso. In der Abbildung aus dem Biomassekraftwerk in Weiningen, sieht man gut, dass sich durchaus eine Silvesterrakete in die Lagerräumlichkeiten verirren könnte. Ist so ein Lager erst einmal in Brand geraten, hilft nur noch die komplette Entleerung. Aufgrund der geringen Lagerungsdichte kann so ein Holzspänehaufen zudem nicht sicher betreten werden. Eine Sicherung von Feuerwehrleuten ist nötig! Beim Umschlag muss darauf geachtet werden, dass sich die Staubentwicklung in Grenzen hält, wo doch sonst die zusätzliche Gefahr einer Staubexplosion oder -verpuffung dazukommen würde. Hier gilt: Wenn man den Staub mit einem Sprühstrahl herunterschlägt, reduziert sich die Gefahr deutlich, feuchte Schnitzel und Späne verursachen weniger Staub und der bereits in der Luft befindliche Staub wird sich an die Wassertröpfchen binden.

Elektrische Gefahren

Biomassekraftwerke produzieren primär Strom, und sekundär Abwärme. Da aber relativ grosse Leistungen installiert sind, durchaus bis mehrere tausend Kilowatt, müssen diese mit Hochspannung ins Netz eingespiesen werden. Man muss davon ausgehen, dass sich in so einer Anlage ein Hochspannungsteil befindet, selbst wenn am Generator tiefere Spannungen erzeugt werden sollten. Ein Einbezug der zuständigen Elektrizitätsversorger ist bereits in einer frühen Phase angezeigt! Der Anlagenbetreiber kann über Spannungen und Gefahren meist sehr gut Auskunft geben. Trafostationen müssen vor einer Intervention auf jeden Fall stromlos geschaltet werden!

Foto: Nicole J. Seitz

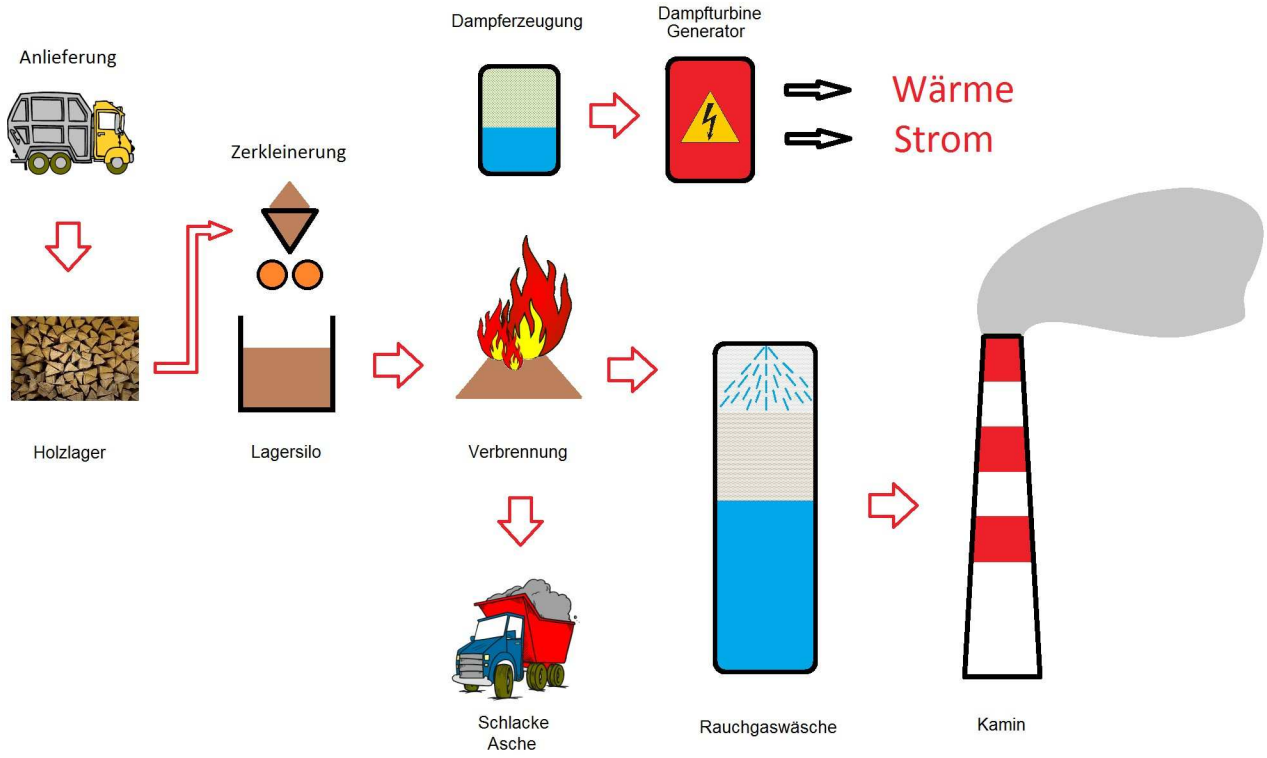
Transformatoren stehen unter Hochspannung und dürfen keinesfalls gelöscht werden. Der Strom muss durch den Anlagenbetreiber zuerst ausgeschaltet werden, anschliessend kann der Transformator gelöscht werden. Da grosse Transformatoren Öl enthalten, ist Wasser kein geeignetes Löschmittel.

Fazit

Holz findet in Zentralheizungen immer weitere Verbreitung. Besonders Pellets und Hackschnitzel werden häufig verwendet. Hier gibt es einige spezifische Risiken zu beachten. Wenn man sich aber an die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen hält, besteht keine grosse Gefahr, dass beim Einsatz unliebsame Überraschungen auftauchen.

Biomassekraftwerke sind eine neue Herausforderung für die Feuerwehren, sie können Kehrichtheizkraftwerken sehr ähnlich sein. Eine neue Biomasseanlage muss von der Feuerwehr frühzeitig beübt werden, Gebäude- und Anlagenkenntnisse sind wichtig, weil die technischen Einrichtungen sehr komplex sind. Über die Gefahren von Chemikalien, welche in grösseren Mengen verwendet werden, sollte man sich frühzeitig vor Ort ein Bild machen. Mit diesem Vorwissen ist ein Ereignis in einem Biomassekraftwerk keine Herausforderung, die nicht zu meistern wäre.

Nicole J. Seitz, Milizfeuerwehr Zürich



Schematischer Aufbau eines Biomassekraftwerks: Nach der Anlieferung wird das Holz im Freien, allenfalls unter einem Dach, gelagert. Anschliessend wird es zerkleinert und zwischengelagert und dann der Verbrennung zugeführt. Die entstehende Hitze verdampft Wasser, der entstehende Dampf treibt eine Turbine und einen Generator an, Strom wird erzeugt. Die Rauchgase durchströmen einen Elektrofilter und gelangen danach in die Rauchgaswäsche.

■ ACHTUNG

Heizungen

- Heutige Holzheizungen können enorme Leistungen aufweisen, sehr grosse Brennstofflager sind die Folge
- Pellets, und in geringerem Masse auch Schnitzel, können giftige Gase, vor allem Kohlenmonoxid, abgeben; im Extremfall kann die Konzentration tödlich sein
- Grünschnitzel gären im Grünschnitzelsilo nach; es entsteht Kohlendioxid, welches den Sauerstoff verdrängt.
- Pressluftatmer sind in Silos auf jeden Fall zwingend einzusetzen
- Schnitzel- und Pelletslager bergen auch physische Gefahren; Atemschutzgeräteträger sind gegen Absturz zu sichern

Kaminbrände

- Immer Kaminfeger aufbieten
- Niemals Wasser in den Kamin hinein abgeben
- Den Kamin auf allen Etagen mit AS-Trupps und Leitungen sichern, wenn möglich mit Wärmebildkamera
- Dachstock von innen und von aussen mittels ADL beobachten
- Nur der Kaminfeger löscht mit Wasser, er hat eine Spezialausbildung

Biomassekraftwerke

- Vorsicht: Giftige und ätzende Chemikalien werden im Betrieb in grösserer Menge gelagert
- Überall in der Anlage sind heisse Rohre und Geräte, es kann heisser Wasserdampf in grosser Menge austreten → mit grosser Vorsicht vorgehen
- Ein Kraftwerk produziert Strom → Elektrizitätsversorger aufbieten
- Pikett des Anlagenbetreibers aufbieten
- Transformatorenraum nicht betreten → Vorsicht Hochspannung, zuerst ausschalten lassen!
- Im Turbinen-/Generatorraum sind gefährliche Ströme vorhanden; durch den Anlagenbetreiber Anlage ausschalten lassen
- Die Brandlast ist im Bereich des Brennstofflagers extrem hoch, darum in erster Priorität Brennstofflager halten, Material mit Sprühstrahl befeuchten

Biogasanlagen

Bio heisst nicht ungefährlich

Man würde es nicht vermuten, aber Biogasanlagen können im Ereignisfall grosse Gefahren für Feuerwehrleute bergen. Mit der richtigen Vorgehensweise und frühzeitiger Auseinandersetzung mit der Materie kann aber auch ein solches Ereignis erfolgreich bewältigt werden.

Alternative Energie wird für die Feuerwehren immer mehr zum Thema. Nachdem bereits Photovoltaikanlagen überall ins Gespräch gekommen sind, ist es an der Zeit, sich um andere alternative Energieträger zu kümmern. Der vorliegende Artikel entstand im Rahmen einer Bachelorarbeit an der ETH Zürich, wo durch eine Studentin der Umweltnaturwissenschaften, die gleichzeitig Offizierin bei der Milizfeuerwehr in Zürich ist, alternative Energieträger im Hinblick auf ihr Gefahrenpotential für die Feuerwehren untersucht wurden.

Immer mehr Landwirte entdecken mit Alternativenergien eine zusätzliche Einnahmequelle. Aus Hofdünger oder hoffremdem Gärgut wie Essensresten aus der Gastronomie lässt sich durch eine Gärung Methangas produzieren. Dieses, chemisch dem Erdgas sehr ähnlich, kann in einem Blockheizkraftwerk zu Strom und Wärme verarbeitet werden oder ins Erdgasnetz eingespiesen werden.

Schwefelwasserstoff als Gefahrenquelle

Bei der Vergärung von Proteinen in einer Umgebung ohne Sauerstoff entsteht Schwefelwasserstoff. Dieser lässt sich in geringen Konzentrationen als fauliger Geruch nach Eiern wahrnehmen und ist hoch giftig. Schwefelwasserstoff zerstört den Blutfarbstoff Hämoglobin und führt in der Folge zu einem inneren Ersticken, weil der Sauerstoff nicht mehr von der Lunge zu den Muskeln und ins Hirn transportiert werden kann. Ausserdem hat er die gefährliche Eigenschaft, dass die Geruchsrezeptoren in der Nase ab einer Konzentration von ca. 200 ppm augenblicklich gelähmt werden, und die Gefahr deshalb nicht mehr wahrnehmbar ist.

Schon bei der Anfahrt entscheidet sich vieles

Giftige Gase können durch den Wind verfrachtet werden. Fachkreise empfehlen deshalb, eine Biogasanlage grundsätzlich immer mit dem Wind anzufahren. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass man nicht aus Versehen mitten in eine Wolke aus giftigen Gasen fährt.

Foto: Nicole J. Seitz

Mittels einer Fackel, welche spontan anläuft, wird in der Anlage der Axpo Kompogas AG in Otelfingen überschüssiges Biogas verbrannt.

Neben Schwefelwasserstoff spielen auch Ammoniak oder Kohlenmonoxid eine Rolle. Es ist sogar denkbar, dass bei der Anlieferung von cyanidhaltigen Abfällen Blausäure entstehen könnte. Deshalb ist es ratsam, die Konzentrationen solcher Gase bereits ab Einsatzbeginn zu messen. Um die Anlage ist eine Absperrung von mindestens 50 Metern einzurichten, falls davon ausgegangen werden muss, dass Gase austreten könnten.

Der Not-Ausschalter schafft neue Gefahren

Obwohl es in der Anlage in der Regel einen Not-Ausschalter gibt, kann ein Auslösen der Not-Ausschaltung neue Gefahren schaffen. Das Blockheizkraftwerk, und damit die Stromproduktion, können ausgeschaltet werden. Die Bakterien, welche Biogas produzieren, lassen sich aber nicht per Knopfdruck ausschalten. Sie arbeiten weiter, wie wenn nichts geschehen wäre. Das entstehende Biogas muss in der Folge abgeführt werden. Dies kann nicht einfach als Abblasen in die Umgebungsluft geschehen, weil teilweise sehr giftige Gase in gefährlichen Konzentrationen vorliegen. Aus diesem Grund wird das Biogas in einer Fackel abgebrannt. Diese Fackel springt an, sobald die Speicherkapazitäten (sofern überhaupt vorhanden) ausgeschöpft sind. Die Fackel kann sich auf dem Gebäude befinden, oder etwas entfernt freistehend sein. Der Standort der Fackel muss deshalb frühzeitig in Erfahrung gebracht werden.

Auf Landwirtschaftsbetrieben mit Biogasanlage kommen häufig Folienspeicher zum Einsatz. Man kann sich diese als elastische Gummihaut direkt über dem Gärbehälter, meist ein rundes Betonbecken, vorstellen. Mit zunehmender Produktion von Biogas wölbt sich die Gummihaut nach oben. Eine Verletzung dieser Haut, zum Beispiel durch Herabfallen von Trümmern, führt zu einer augenblicklichen Freisetzung grosser Mengen brennbarer und teils giftiger Gase. Wenn brennende Trümmer auf einen Folienspeicher stürzen, kann dies zu einem Durchbrennen mit anschliessendem Abbrand des Gases führen. Eine Explosionsgefahr besteht dabei allerdings nicht.

Foto: RaBoe / Wikipedia

Folienspeicher in Neuhaus (Niedersachsen)

Häufig sind Transformatoren involviert

Die im Blockheizkraftwerk erzeugte elektrische Energie wird bei den meisten Anlagen mit einer Spannung von 400 Volt (AC, Wechselstrom) erzeugt und dann ins Netz eingespiesen. Sind bei einer kleinen Anlage nur geringe Leistungen vorhanden, können diese ohne weitergehende Transformation in Niederspannungsnetze eingespiesen werden. Grössere Anlagen, die elektrische Leistungen von einigen hundert Kilowatt aufweisen, können nicht mehr ins Niederspannungsnetz eingespiesen werden. Der Strom muss auf Hochspannung transformiert werden, was aber bedeutet, dass sich in der Anlage eine Transformatorenstation befindet. Da in diesem Fall Hochspannung vorliegt und Teile unter Hochspannung vor einer Intervention immer spannungsfrei sein müssen, ist eine frühzeitige Kontaktaufnahme mit dem Elektrizitätsversorger angezeigt. Zwar kann die gesamte Anlage mit einem Not-Ausschalter gestoppt werden, die in der Transformatorenstation anliegende Hochspannung wird dadurch aber nicht unterbrochen.

Foto: Nicole J. Seitz

Betriebsstoffe, wie hier Hydrauliköl für den hydraulischen Antrieb der Förderanlagen, stellen eine zusätzliche Brandlast und eine Umweltgefährdung dar.

Explosionsgefahr

Von einer intakten Anlage geht keine Explosionsgefahr aus. Sind aber Anlagenteile beschädigt, kann Biogas austreten und sich in einem Teil der Anlage sammeln. Da Biogas unterschiedliche Zusammensetzung hat, können die Explosionsgrenzen nicht genau angegeben werden. Je nach Zusammensetzung kommt die untere Explosionsgrenze nicht tiefer als 4%, die obere kaum höher als 30% zu liegen. Das ist ein sehr breiter Bereich, in welchem immer mit einer Explosion gerechnet werden muss. Im Gegensatz zu Erdgas, welches leichter als Luft ist, ist Biogas meist etwa gleich schwer wie Luft und es verflüchtigt sich deshalb nicht so

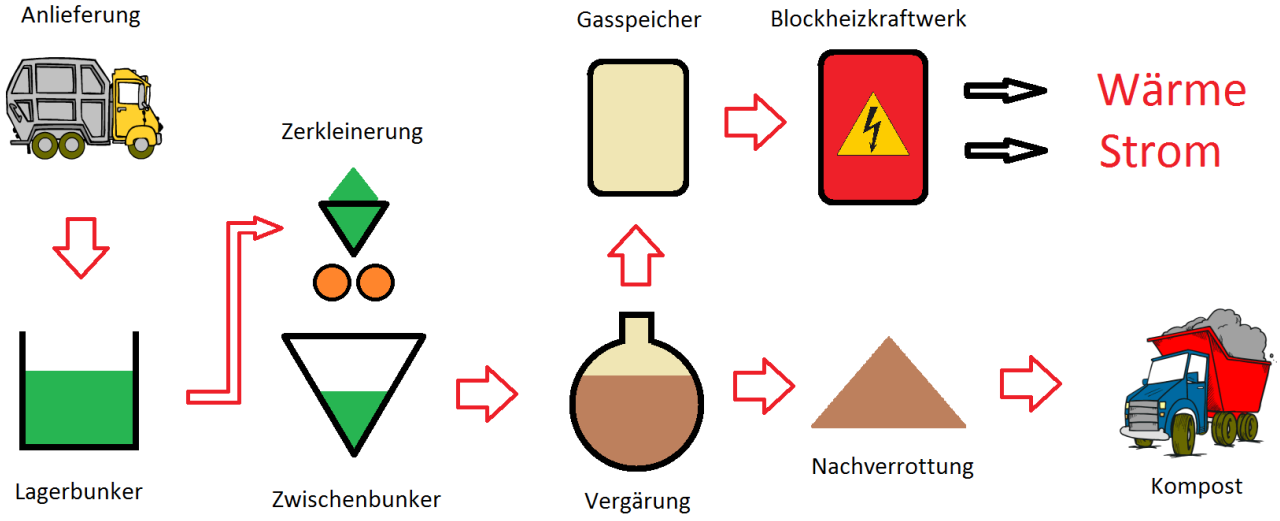
schnell wie Erdgas.
Bei der Aufbereitung von Biogas für die Netzeinspeisung oder für eine Tankstelle werden Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff entfernt. Der Methananteil wird auf gegen 100 Prozent gesteigert, die Dichte nimmt dadurch von ca. 1.2 kg auf rund 0.7 kg pro Kubikmeter ab. Jetzt ist das Biogas leichter als Luft, und verflüchtigt sich schneller.

Angegliederte Tankstellen
Gerade grössere Anlagen haben häufig angegliederte Tankstellen. Dort wird Biogas mit einem Druck von 250 bar für die Betankung von Fahrzeugen vorrätig gehalten. Bei einem Brand besteht die Gefahr, dass sich die Gasbehälter erhitzen und bersten könnten. Deshalb ist eine angegliederte Tankstelle mit Priorität zu schützen und ausser Betrieb zu nehmen. Im Kompressorraum, der sich meist unweit der Zapfsäule befindet, gibt es einen Not-Ausschalter. Es wird jetzt kein weiteres Gas mehr komprimiert, das vorrätige Gas verbleibt aber natürlich in den Druckbehältern. Es kann sich durchaus um mehrere hundert Kilogramm oder sogar wenige Tonnen handeln. Darum ist es unumgänglich, eine Tankstelle prioritär zu schützen.

Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz
Einzelne Anlagen speisen Biogas ins Erdgasnetz ein. In diesem Fall besteht ein Anschluss an den örtlichen Erdgasversorger. Es darf nicht vergessen werden, die Anlage vom Netz zu trennen, um ein Nachströmen von Erdgas ins Objekt zu verhindern. Erdgas kann wie Biogas auch, zu einer Explosionsgefahr führen, enthält aber im Gegensatz zu Biogas keine giftigen Gase in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen

Fazit
Biogasanlagen sind eine neue Herausforderung. Einsätze in solchen Anlagen können aber, wenn man die Funktionsweise der Anlagen kennt, erfolgreich durchgeführt werden. Für Feuerwehren, welche Biogasanlagen in ihrem Einsatzgebiet haben, ist es ratsam, diese regelmässig zu beüben, um im Ereignisfall die wichtigsten Sicherheitsaspekte bereits zu kennen.

Nicole J. Seitz, Milizfeuerwehr Zürich



Schematischer Aufbau einer Biogasanlage nach dem Kompogasverfahren: Nach der Anlieferung wird das Gärgut in einem Bunker gelagert. Anschliessend wird es zerkleinert und zwischengelagert und dann der Vergärung zugeführt, wo es für 2 bis 3 Wochen verbleibt. Während dieser Zeit entsteht Biogas, welches in einem Blockheizkraftwerk zu Strom und Wärme verarbeitet wird. Als Abfallprodukt bleibt Kompost übrig, der nach einer Nachverrottung als Dünger eingesetzt werden kann.

■ ACHTUNG

Grundsätzliches

- Biogasanlagen sind ein beherrschbares Risiko; diese Gefahren gibt es auf jedem Bauernhof, wenn auch in kleinerem Massstab
- Wenn man eine Anlage frühzeitig beübt, kann die Sensibilisierung für die Gefahren rechtzeitig erreicht werden.
- Die Gefahren sind vielfältig, eine Checkliste hilft, nichts Wichtiges zu vergessen.

Ausrückung

- Anfahrt wenn möglich mit dem Wind, Einsatzleitung in genügend grossem Abstand in der Anfahrtsrichtung
- Messgeräte, falls vorhanden, frühzeitig einsetzen oder Messequipe aufbieten
- Höchste Vorsicht bei wahrnehmbaren Gerüchen, insbesondere nach faulen Eiern
- Rettungsdienst aufbieten

Erste Massnahmen

- Rettungen ausführen (Eigene Sicherheit beachten, im Anlageninnern Atemschutz)
- Grossräumige Absperrung, mindestens 50 Meter um die Anlage
- Abstand halten, Unbeteiligte aus dem Gefahrenbereich entfernen
- Evakuierung umliegender Gebäude prüfen
- Kontakt zum Anlagenbetreiber herstellen
- Betreten der Anlage nur mit Atemschutz

Schadenplatz absichern

- Sperrung umliegender Strassen veranlassen
- Dreifach-Brandschutz sicherstellen
- Nie ohne Sicherungstrupp arbeiten, Truppüberwachung und Kommunikation sicherstellen
- Anlage mittels Not-Ausschalter ausser Betrieb nehmen, gegen Wiedereinschalten sichern, Achtung: Fackel kann automatisch anlaufen!
- Eventuell angegliederte Tankstelle per Not-Aus ausser Betrieb nehmen
- Transformatorenstation nicht betreten und durch Elektrizitätsversorger ausser Betrieb nehmen lassen
- Luftzirkulation durch Öffnen von Türen und Fenstern oder mittels Lüfter sicherstellen, Feuerwehrleute ohne Atemschutz nur ausserhalb der 50-Meter-Absperrung
- Allfälligen Erdgasnetzanschluss trennen, Kontakt mit Gasversorger aufnehmen

Messungen

- Explosionsgefahr mittels Explosimeter abklären
- Gase (Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlenmonoxid, evtl. Blausäure) laufend messen, insbesondere in Kellern, Senken und Schächten

Geothermie und Umweltwärme

Wärme aus der Umwelt

Wärme aus der Tiefe oder aus Luft zu gewinnen ist sauber, problemlos und sicher. Doch, gilt das immer? Können solche Projekte auch zu einem Fall für die Feuerwehr werden?

Nachdem in Wiesbaden am 5. November 2009 mit einer Erdwärmebohrung eine wahre Schlammlawine losgetreten wurde, stellt sich die Frage, ob Geothermie für Feuerwehren ein wichtiges Thema ist. In einer Bachelorarbeit zum Thema „Alternative Energieträger“ wurde auch diese Fragestellung durch eine Studentin der Umweltnaturwissenschaften an der ETH in Zürich untersucht. Die Autorin ist bei der Milizfeuerwehr in Zürich als Offizierin tätig.

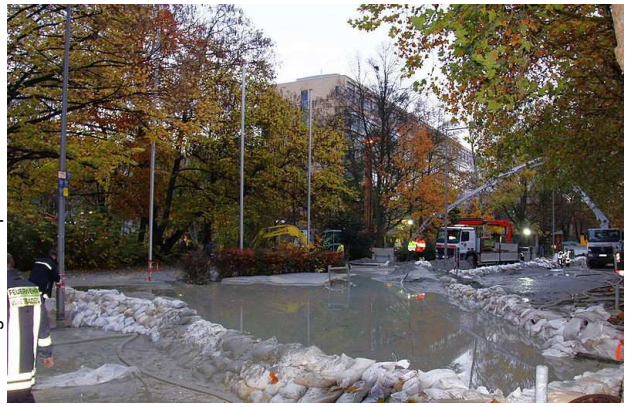


Abbildung: JCS / Wikipedia

Ein ganzes Quartier Wiesbadens wurde durch aus einer Erdsondenbohrung austretende Schlamm- und Wassermassen verwüstet.

Doch, zurück zum Schauplatz Wiesbaden! Was war genau geschehen? - Ein Projekt für die Wärmeversorgung öffentlicher Gebäude mit Erdwärmesonden sollte realisiert werden. Am 5. November drückte plötzlich Wasser mit grossem Druck aus dem Bohrloch, eine Wasserfontäne, die auch Schlamm und Steine mitriss, stieg aus dem Bohrloch sieben Meter hoch auf. Geschätzte 6000 Liter pro Minute ergossen sich über den Bohrplatz und überfluteten bald die nähere Umgebung. Die Feuerwehr kam kurz darauf zum Einsatz, um das Ereignis einzudämmen und den Unternehmer beim Verschliessen der neuen Quelle zu unterstützen.

Erdgase als Gefahrenquelle

In der Tiefe lauern aber nicht nur Wasser und Schlamm, auch Erdgas kann oft bereits in geringer Tiefe gefunden werden. Erdgase enthalten Methan, Kohlendioxid, und manchmal auch den hochgiftigen Schwefelwasserstoff in grösserer Konzentration. Ein Geruch nach faulen Eiern ist auf jeden Fall ein sehr deutliches Warnzeichen, ein sofortiger Rückzug mit Neubeurteilung muss die Folge sein. Auch Erdgase, die keine toxischen Anteile enthalten, können sich entzünden und so zu einer Gefahr führen. Im Mai 2009 wurde in Oftringen eine Gasblase angebohrt. Zuerst schüttete die Bohrung ebenfalls Wasser, Steine und Schlamm. Diese wurden abgeleitet und der Unternehmer unterbrach die Arbeiten bis zum nächsten Tag. Als der Hausbesitzer abends abgelagerte Steine und Schlamm wegräumen wollte, entzündete sich austretendes Erdgas, vermutlich durch Funkenschlag einer Schaufel. Eine Person verbrannte sich dabei schwer, die eintreffende Feuerwehr fasste den Beschluss, das Gas kontrolliert ausbrennen zu lassen. Mit Unterstützung von mittlerweile eingetroffenen Geologen gelang es am darauffolgenden frühen Morgen, das Bohrloch zu verschliessen und den Gasaustritt zu stoppen.

Auch wenn solche Ereignisse die Ausnahme sind, Bohrungen in die Tiefe bergen Risiken. Der Einsatzleiter auf dem Schadenplatz muss diese erkennen können und sich fachliche Hilfe bei Spezialisten einholen.

Nach der Bohrung

Wenn die Bauphase abgeschlossen ist, geht eine Erdwärmebohrung in die produktive Phase. Jetzt wird über ein Wärmeträgermedium, meist Wasser mit Zusatz von Frostschutzmittel, Wärme aus dem Boden geholt. Die Erdwärmesonde ist einbetoniert, aus dem Bohrloch kommt jetzt keine Gefahr mehr.

Abbildung: Wikipedia (Benutzer Reinraum)

In grossen Wärmepumpenanlagen kann als Kühlmittel Ammoniak zum Einsatz kommen.

Wärmepumpen funktionieren ähnlich wie ein Kühlschrank

Die an einer Erdwärmebohrung angeschlossene Wärmepumpe funktioniert im Prinzip wie ein Kühlschrank, es wird Wärme von einem kalten in ein wärmeres Reservoir befördert. Im Kühlschrank ist das vom Innern nach aussen, bei der Wärmepumpe aus dem Erdreich ins Haus.

In der Wärmepumpe gibt es einen Motor, der die Maschine antreibt, ein Kühlmittel und zwei Kreisläufe mit flüssigen Wärmeträgermedien. Als Kühlmittel dienen in sehr alten Maschinen FCKW, die aber aus Ozonschichtschutzgründen verboten wurden. Neuere Geräte, ab Mitte der 1990er Jahre, enthalten zunehmend nicht chlorierte und daher brennbare Stoffe wie R290, R600a und R1270. Diese Stoffe sind dem in Gasflaschen verkauften Propan/Butan ähnlich. Eine Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus enthält zwischen einem und drei Kilogramm dieser Substanzen. Bei einem Defekt am Kühlmittelkreislauf kann das Kühlmittel austreten und verdampfen. Da es brennbar ist und explosive Gemische mit Luft bilden kann, ist diese Situation gefährlich. Die Dämpfe sind schwerer als Luft und können sich in Kellerräumen sammeln.

Tiefe Geothermie

Je tiefer man in die Erde bohrt, desto wärmer wird das Gestein. Man spricht von einem geothermischen Gradienten. Meist wird ein Wert von 3° C für 100 Meter Tiefe angenommen, man kann also in einer Tiefe von 5000 Metern mit einer Temperatur von ca. 160° C rechnen. Da bei dieser Temperatur Wasser bereits kocht, kann in solchen Tiefen Dampf aus Wasser erzeugt werden. Damit wird dann eine Turbine angetrieben und so Strom erzeugt. Um die Oberfläche, auf der Wärme übertragen wird, zu vergrössern, versucht man mit dem HDR-Verfahren, den Fels mit Wasser unter sehr hohem Druck aufzubrechen und so Klüfte zu schaffen, durch die Wasser auf eine weiter entfernte Produktionsbohrung zufliessen kann, wo es dann aufgewärmt wieder entnommen wird.

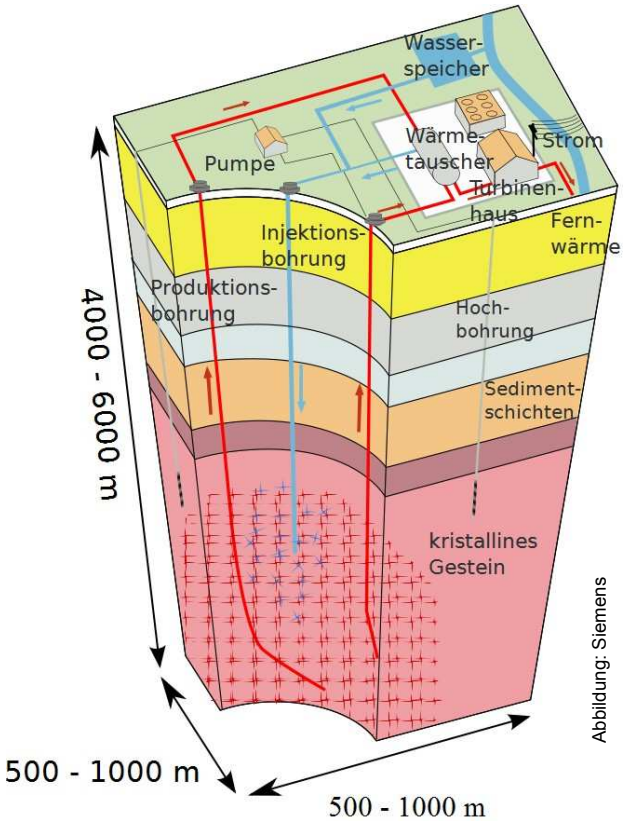


Abbildung: Siemens

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR): Mit einer Injektionsbohrung wird Wasser in den heissen Fels gepresst. Dadurch erweitern sich Klüfte, und das nun erwärmte Wasser kann in Produktionsbohrungen zur Nutzung abgezogen werden.

Bei genau diesem Einpressen von Wasser und der Bildung von Klüften in den Jahren 2006 und 2007 bebte in Basel die Erde mit Stärken bis 3.4 auf der Richterskala. Aus diesem Grund wurde das Projekt vorerst gestoppt. Weitere Projekte sind in der Schweiz nicht geplant, es wird nur an diversen Orten auf die Nutzung geothermaler Tiefenwässer hingearbeitet. Dabei handelt es sich um sehr tiefe Grundwasserleiter, die warmes Wasser führen. Solche Nutzungen gibt es bereits an verschiedenen Orten, wo Thermalwasser mit Tiefenbohrungen erschlossen wurden.

Mit tiefen Erdsonden, die mehrere Kilometer in die Tiefe reichen, kann ebenfalls Erdwärme

gewonnen werden. Ein solches Projekt wird in Zürich realisiert.
Bei all diesen Projekten ist nicht mit Erdbeben zu rechnen, und aufgrund der völlig anderen Bohrtechnik sind auch Wasser- und Gasausbrüche kein Thema.

Fazit
Geothermie in ihrer heutigen Form stellt für die Feuerwehr kaum ein Tätigkeitsgebiet dar, einzig bei der Bohrung von Erdsonden für die oberflächennahe Geothermie kann es in Einzelfällen zu Unfällen kommen, wobei Gase und Wasser in grossen Mengen austreten können.
Wärmepumpen, nicht nur Sole-/Wasser-Wärmepumpen bei Erdwärmebohrungen, sondern auch Luft-/Wasser-Wärmepumpen, sind wegen des Kühlmittels ein Risiko. Die Kühlmittel sind bei neueren Anlagen meist brennbar oder gar toxisch. In einem Einfamilienhaus entspricht die Menge des Kühlmittels etwa einer kleineren Campinggas-Flasche.

Nicole J. Seitz, Milizfeuerwehr Zürich

Foto: Tetris L / Wikipedia

Eine Erdwärmesonde wird gebohrt. Gut möglich, dass bei einer solchen Bohrung in der Tiefe liegende Reservoirs von Erdgasen oder unter Druck stehende Grundwasserleiter, sogenannte Arteser, angebohrt werden.

■ ACHTUNG

Grundsätzliches

- Erdwärmebohrungen können unterirdische Reservoirs von Wasser oder Gasen anbohren
- Austretende Erdgase sind brennbar und können giftigen Schwefelwasserstoff enthalten
- Bei austretenden Gasen sollte ein Messtrupp beigezogen werden, welcher das austretende Gas auf giftige Komponenten untersucht

Vorsicht bei...

- fauligem Geruch nach Eiern
- Arbeit mit Werkzeug in der Nähe einer Bohrung, vorhandenes Erdgas kann sich entzünden
- austretenden Gasen

Wärmepumpen

- Wärmepumpen funktionieren ähnlich wie ein Kühlschrank
- Weil sie grösser sind, enthalten sie deutlich mehr Kühlmittel als ein Kühlschrank
- Kühlmittel sind häufig brennbar oder bei grossen Anlagen sogar toxisch (Ammoniak)
- Zündquellen vermeiden (Stromversorgung der Liegenschaft unterbrechen)

Messungen

- Explosionsgefahr mittels Explosimeter abklären
- Gase (Schwefelwasserstoff bei frischen Bohrungen), ev. Ammoniak bei grossen Wärmepumpen

Windenergieanlagen

Stark im Kommen

Windenergieanlagen sind in der Schweiz bisher nicht stark verbreitet, aber man muss davon ausgehen, dass diese sich auch bei uns mit zunehmender Geschwindigkeit verbreiten, produzieren sie doch sauberen Strom zu tieferen Kosten wie andere erneuerbare Energieträger.

Foto: Dirk Goldhahn / Wikipedia

Ein dänischer Windenergiepark. Die grössten Modelle der heute gebräuchlichen Windräder erreichen Höhen von um die 200 Meter über Grund. Für Feuerwehren bieten solche Anlagen etliche Knacknüsse!

Der vorliegende Artikel entstand im Rahmen einer Bachelorarbeit an der ETH Zürich, wo durch eine Studentin der Umweltnaturwissenschaften, die gleichzeitig Offizierin bei der Milizfeuerwehr in Zürich ist, alternative Energieträger im Hinblick auf ihr Gefahrenpotential für die Feuerwehren untersucht wurden.

Windenergieanlagen sind noch selten

Obwohl Windenergieanlagen in der Schweiz noch recht selten anzutreffen sind, ist deren Zahl stetig im Steigen begriffen, und die Wahrscheinlichkeit, dass ein solches Ereignis stattfindet, wird grösser. Das grösste Problem, das sich einer Feuerwehr stellt, ist vor allem die enorme Höhe dieser Anlagen. Das Maschinenhaus kann sich in einer Höhe von deutlich über 100 Metern über Grund befinden, solche Arbeitshöhen erfordern ein ausgebildetes Höhenretterteam. Für Feuerwehrleute ohne diese Ausbildung ist ein Arbeiten in dieser Höhe tabu.

Auch wenn die meisten Windenergieanlagen jahrelang ohne Probleme laufen, kann zum Bei-

spiel durch Blitzschlag oder technische Ursachen ein Brand im Maschinenhaus ausgelöst werden. Es befindet sich in grosser Höhe und brennende Trümmer werden über kurz oder lang abstürzen.
Eine Bekämpfung des Brands im Maschinenhaus ist praktisch unmöglich, denn dass Löschmannschaften über eine bis zu 100 Meter hohe Leiter vorrücken, ist undenkbar, zumal es sein kann, dass auch im Innern des Turms bei einem Brand Trümmer abstürzen. Ein Pressluftatmer würde den Löschtrupp schon lange vor erreichen des Brandherds zur Umkehr zwingen, weil die Luft ausgeht. Das Vorgehen muss so sein, dass man um den Anlagenfuss weiträumig absperrt. Bei starkem Wind kann es nötig werden, in Windrichtung bis zum vierfachen Rotordurchmesser abzusperren.
Anschliessend lässt man die Anlage kontrolliert ausbrennen und verhindert eine Ausbreitung durch brennende Trümmer am Boden. Vorsicht, weitere Trümmer können jederzeit abstürzen und die Löschmannschaften gefährden. Im Zweifelsfalle lässt man lieber brennen.

Foto: Peter Honeder / Wikipedia

Der Aufstieg zum Maschinenhaus ist nichts für Feuerwehrleute ohne Ausbildung als Höhenretter!

Brand am Anlagenfuss

Weniger gefährlich, aber ebenfalls nicht ungefährlich, sind Brände am Anlagenfuss. Hier befindet sich häufig der Transformator, welcher den Strom vor der Einspeisung ins Netz wandelt. Bei einem Brand im Bereich des Transformators ist die Anlage zwingend spannungsfrei zu schalten (durch den Anlagenbetreiber), bevor ein Löschangriff erfolgt.
Gerade bei Sturm oder Frost besteht die Gefahr abstürzender Anlagenteile und Eisbrocken. Es halten sich aus diesem Grund ausschliesslich die Anzahl benötigter Einsatzkräfte unter der Anlage auf, weitere Einsatzkräfte halten sich mindestens in Distanz der Anlagenhöhe bereit. Solange nicht gelöscht werden kann, weil die Anlage noch unter Spannung steht, soll insbesondere bei Sturm und Frost auch die Löschmannschaft denselben Warteraum beziehen, um nicht im Gefahrenbereich zu stehen.

Medizinischer Notfall im Turm

Für Wartungsarbeiten müssen immer wieder Techniker des Herstellers die Anlage besuchen. Sie steigen ins Maschinenhaus auf und besitzen eine entsprechende Ausbildung. Aus Sicherheitsgründen wird zu zweit gearbeitet, damit bei einem Notfall jederzeit Hilfe angefordert werden kann. Muss der Patient liegend transportiert werden, ist es unumgänglich, mit einer Höhenrettergruppe aufzusteigen.

Feuerwehrleute ohne entsprechende Ausbildung haben hingegen im Turm nichts verloren. Sie können für die Materialzulieferung oder das Einweisen von Fahrzeugen herangezogen werden.

Foto: userhelp.ch / Wikipedia

Der Windenergiepark auf dem Mont Crosin im Berner Jura ist mit 16 installierten Windrädern der grösste Windpark der Schweiz.

Technischer Defekt

Bei technischen Defekten in einer Windenergieanlage können im Maschinenhaus grosse Mengen Öl freigesetzt werden. Selbstverständlich gelten in so einem Fall dieselben Sicherheitsvorkehrungen wie bei anderen Einsätzen. Nur ausgebildete Höhenretter kommen als Einsatzkräfte im Maschinenhaus in Frage. Die

Anlage soll zudem durch den Betreiber spannungsfrei geschaltet werden, und am Boden ist zu verhindern, dass sich das Ereignis ausbreitet.

Verzeichnis der Windenergieanlagen
Glücklicherweise wird durch die Betreiber der schweizerischen Windenergieanlagen im Internet ein Verzeichnis geführt, wo Einzelanlagen und Windparks aufgeführt sind. Das Verzeichnis ist unter der Adresse www.wind-data.ch hinterlegt, ist aber insbesondere bei Windparks sehr ungenau, da nur die Koordinaten des Parks und nicht jene der einzelnen Anlagen angegeben werden. Für Feuerwehren, die einen Windpark in ihrem Gebiet haben, ist es unbedingt angezeigt, frühzeitig mit dem Betreiber Kontakt aufzunehmen, um im Ernstfall die Anfahrtswege und die einzelnen Anlagen zu kennen. Ein anrückendes Höhenretterteam wird diese Kenntnisse nicht haben und der Besatzung eines Rettungswagens fehlt schlicht die Zeit, alle Windräder anzufahren um das Richtige zu finden, womit die Kenntnisse der örtlichen Feuerwehr gefragt sein werden.

Nicole J. Seitz, Milizfeuerwehr Zürich

■ ACHTUNG

Ereignisse in Windenergieanlagen

- Nur eingesetzte Einsatzkräfte befinden sich unter der Anlage, die anderen beziehen einen Warteraum, mindestens so weit vom Anlagenfuss entfernt wie diese hoch ist!
- Unverzüglich mit dem Anlagenbetreiber Kontakt aufnehmen
- Gebiet um die Anlage weiträumig absperren, abhängig von der Windrichtung und Windstärke bis zum Vierfachen des Rotordurchmessers
- Anlage vom Stromnetz trennen lassen
- Falls Personen im Maschinenhaus sind, Kontakt über Gegensprechanlage oder Funk aufnehmen
- Brände im Maschinenhaus und an den Rotoren nicht löschen, Ausbreitung durch abstürzende brennende Trümmer verhindern, Vorsicht vor weiteren Trümmern, Abstand halten!
- Anlage darf nur von ausgebildeten Höhenrettern mit einwandfreiem Material bestiegen werden (auch für Personenrettungen)
- Betreiber der Anlage über genaue Situation informieren. Unter www.wind-data.ch sind Daten zur jeweiligen Anlage hinterlegt.
- Keine Leiternstellungen an der Anlage, der Rotor kann sich drehen und Feuerwehrleute auf Leitern gefährden!

Alternative Fahrzeugantriebe

Unübersichtliche Situation

Im Bereich der Fahrzeuge wimmelt es von Antrieben mit alternativen Treibstoffen. So werden Experimentalfahrzeuge auf die Strasse geschickt, neue Technologien etablieren sich und Serienfahrzeuge werden nachträglich umgebaut. Sich hier zurecht zu finden, ist eine grosse Herausforderung.

Fahrzeuge mit alternativen Antrieben bestimmen zunehmend das Bild auf den Strassen. Insbesondere die Hybridtechnologie hält auf breiter Front Einzug. Bei einem Einsatz, wo solche Fahrzeuge involviert sind, müssen einige Gefahren beachtet werden. Der vorliegende Artikel, welcher im Rahmen einer Bachelorarbeit an der ETH Zürich entstand, versucht, die Risiken mit möglichen Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Die Autorin ist Offizierin bei der Milizfeuerwehr Zürich, und studiert Umweltnaturwissenschaften an der ETH in Zürich.

Hybridfahrzeuge sind sehr verbreitet

Der Toyota Prius ist der prominenteste Vertreter dieser Klasse, aber auch andere Hersteller haben Hybridfahrzeuge auf den Markt gebracht. Diese Fahrzeuge haben einen elektrischen Antrieb, sie gewinnen aus dem Bremsvorgang und direkt vom Verbrennungsmotor elektrische Energie, die in einer Nickel-Metallhydrid-Batterie gespeichert wird. So kann der Verbrennungsmotor bei langsamer Geschwindigkeit komplett ausgeschaltet werden und der Antrieb erfolgt rein elektrisch.

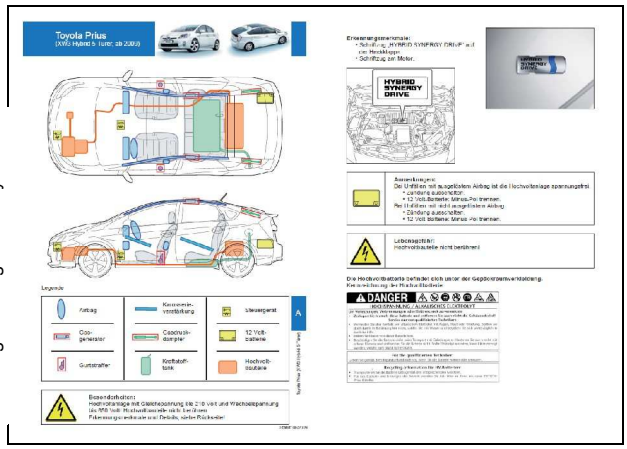


Abbildung: Rettungskarte Toyota Prius

Rettungskarten enthalten wichtige Daten zum Fahrzeug. Wenn kein elektronisches System zur Verfügung steht, können sie sehr hilfreich sein.

Die dabei aus der Batterie entnommenen Spannungen und Ströme sind sehr unterschiedlich. Toyota gibt für sein Modell Prius Spannungen von bis zu 210 Volt DC und 650 Volt AC an, wobei Wechselstrom (AC) gefährlicher ist als Gleichstrom (DC). Diese Angaben sind auf der Rettungskarte abzulesen, überhaupt ist diese ein sehr gutes Werkzeug, um sich schnell einen Überblick über die Daten des Fahrzeugs zu verschaffen. Nicht jede Feuerwehr verfügt über ein elektronisches System, wo diese Daten nachgeschlagen werden können. Aber bei einem Autobrand kann sie dennoch mit Fahrzeugen dieses Typs konfrontiert werden.

Foto: Nicole J. Seltz

Fahrzeuge mit Alternativantrieb unterscheiden sich äusserlich nicht von anderen Fahrzeugen. Einzig aus der Modellbezeichnung wie hier beim „VW Touran Ecofuel“, kann auf alternativen Antrieb geschlossen werden. Häufig finden sich im Motorraum Herstellerangaben zur Antriebsart.

Unter www.rettungskarte.ch bietet der TCS Links zu verschiedenen Herstellern an, wo die Rettungskarten zum Download bereitstehen. Diese Rettungskarten bezeichnen vorallem für die Sicherheit relevante Bauteile wie Batterien, Airbags, hochvoltige Kabel oder auch Karosserieverstärkungen. Es empfiehlt sich, solche Rettungskarten für spezielle Fahrzeuge in den Einsatzfahrzeugen mitzuführen. Der

TCS empfiehlt Fahrzeughaltern, die Rettungskarte ihres Modells unter der Sonnenblende bereitzuhalten. Mit etwas Glück wird man dort fündig, falls man die Karte sonst nicht zur Hand hat.

Batterien sind sehr gefährlich

Solange Hybridfahrzeuge nicht beschädigt sind, geht von den verbauten Komponenten keine Gefahr aus. Häufig treffen Feuerwehren aber auf beschädigte Teile. Die Hochvoltbatterien enthalten ätzendes Kaliumhydroxid. Es muss deshalb mit Gummihandschuhen, Atemschutz, Schutzbrille und einem leichten C-Schutz (Schürze, Anzug) gearbeitet werden. Spritzer sofort mit viel Wasser abspülen!

Elektrofahrzeuge

Gerade bei Zweirädern beginnen sich Elektroantriebe zunehmend durchzusetzen. Die Fahrzeugtechnik hat Fortschritte gemacht, die es erlauben, Fahrräder, Roller und Motorräder mit elektrischen Antrieben auszurüsten. Diese Entwicklung wird zweifelsohne auch bei Autos kommen, in welchem Umfang ist allerdings unklar, weil es eine enorme Vielfalt an möglichen, umweltschonenden Antrieben gibt. Die Gefahren sind im Wesentlichen dieselben wie bei Hybridfahrzeugen, dort werden ein Benzinmotor und ein Elektrofahrzeug kombiniert, bei reinen Elektrofahrzeugen fällt der Benzinmotor weg. Die elektrischen Einrichtungen sind vergleichbar, und somit gelten die für Hybridfahrzeuge erwähnten Gefahren auch für Elektrofahrzeuge. Unterschiedlich ist, dass Elektrofahrzeuge noch nicht in grossen Serien produziert werden und die Standardisierung deshalb geringer ist. Anders ausgedrückt könnte man auch sagen, unliebsame Überraschungen sind eher zu erwarten, gerade auch, weil die Kabel möglicherweise nicht in warnendem Orange gehalten sind.

Brennstoffzellenfahrzeuge werden noch nicht in Serie hergestellt

Auch wenn sehr viel von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieben geredet und geschrieben wird, rechnen grosse Autokonzerne nicht mit einer Serienfertigung vor dem Jahr 2020. Zudem sollen die Brennstoffzellen an und für sich sehr sicher sein. Dennoch werden solche Fahrzeuge aufgrund des elektrischen Antriebs Gefahren bergen. Sie führen unter Umständen hochkomprimierte oder gar tiefkalt verflüssigte Gase mit sich. Im elektrischen Teil erwartet man ähnliche Gefahren wie bei Hybridfahrzeugen, hohe Spannungen mit grossen Strömen, die zu einem gefährlichen Stromschlag führen können. Die Treibstoffe, welche sich für Brennstoffzellenfahrzeuge eignen, sind Wasserstoff, Biogas oder Ethanol/Methanol, wobei letztere flüssig sind, die beiden anderen gasförmig.

Gerade Wasserstoff zeichnet sich durch einen sehr breiten Bereich aus, wo er mit Luft explosive Gemische bilden kann. Er ist aber auch die chemische Substanz, die sich am schnellsten verflüchtigt. Seine Dichte ist die geringste aller Gase, Wasserstoff steigt darum immer auf.

Wasserstoff wird in komprimierter Form mit mehreren hundert Bar Druck oder tiefkalt verflüssigt, mit einer Temperatur von rund -253° C getankt. Bei einer Beschädigung des Tanks bergen sowohl die enorm hohen Drücke der komprimierten Form, als auch die extrem tiefen Temperaturen der flüssigen Form Gefahren. Bereits das Berühren eines beschädigten Tanks mit verflüssigtem Wasserstoff kann zu schweren Kälteverbrennungen führen.

Foto: HDP / Wikipedia

Eine Brennstoffzelle, in der aus Methylalkohol Strom produziert wird.

Gasfahrzeug ist nicht gleich Gasfahrzeug

Wasserstofffahrzeuge, die mit Brennstoffzellen arbeiten, werden nicht zu den Gasfahrzeugen gezählt, diese Kategorie beschränkt sich auf die Fahrzeuge mit Flüssiggas- oder Erd-/Biogasantrieben. Erd- und Biogas für Fahrzeuge sind chemisch identisch und unterschei-

den sich in ihren Eigenschaften nicht. Flüssiggas und Erdgas unterscheiden sich hingegen sehr wohl. Flüssiggas ist schwerer als Luft und wird im Fahrzeug in verflüssigter Form transportiert. Erdgas ist leichter als Luft und wird gasförmig, unter hohem Druck, transportiert.
Dies hat deutliche Auswirkungen auf die Eigenschaften der austretenden Gase. Während Flüssiggas (Markenname „Autogas“) sich in Vertiefungen und Kellerräumen ansammeln kann, verflüchtigen sich Erdgas und Biogas schnell, sie steigen auf und werden vom Wind weggetragen.
Bei einem Autobrand sind beide Konzepte ähnlich. Die Gase erhitzen sich, ein Druckanstieg in den Druckbehältern ist die Folge. Um ein Bersten des Behälters zu verhindern, bauen die Hersteller bei Autogasfahrzeugen Überdruckventile und bei Erdgasfahrzeugen Schmelzsicherungen ein. Der Effekt ist derselbe, das Gas wird bei zunehmender Erhitzung plötzlich abströmen und sich entzünden. Es verbrennt in einer Fackel, die im hinteren Teil des Fahrzeugs austritt, und gegen den Boden, nach hinten oder zur Seite gerichtet sein kann. Deshalb ist der sicherste Bereich bei solchen Fahrzeugen im vorderen Teil. Angriffe sollten von vorne her ausgeführt werden, bei Angriffen von der Seite oder von hinten muss ein genügender Sicherheitsabstand gewahrt werden. Da die Fackel 3 bis 4 Meter lang werden kann, empfiehlt sich ein Sicherheitsabstand von mindestens 5-10 Metern.
Eine starke Kühlung des Fahrzeugs mittels Monitor und Sprühstrahl verzögert oder verhindert den Austritt von Gas. Ein Hydroschild kann (beispielsweise auf einem Brett) von vorne her unter das Fahrzeug geschoben werden, um die meist im Fahrzeugboden eingebauten Gastanks mit mässigem Wasserdruck zu kühlen. Für Autobrände wären generell Werkzeuge, die eine Kühlung von unten her zulassen, ideal. Es gibt dazu bei einigen Feuerwehren Eigenkonstruktionen, wo vereinfacht gesagt ein nach oben gerichteter Duschkopf auf Rollen mit einer verlängerbaren Stange unter das Fahrzeug geschoben werden kann. Autogasfahrzeuge können den Flüssiggastank auch in der Reserveradmulde oder im Kofferraum haben, da es sich um umgebaute Benziner handelt.

Weil die Tanks mit Überdruckventilen abgesichert sind, besteht bei brennenden Gasfahrzeugen keine Gefahr eines berstenden Tanks, aber sehr wohl diejenige von Stichflammen. Ausströmendes Gas bei Fahrzeugen, die nicht in Brand geraten sind, bedeutet immer eine akute Explosionsgefahr.

E85 und Bioethanol

Unter dem Namen E85 kommt ein Gemisch aus 15% Benzin und 85% Bioethanol an die Tankstellen. Autos, die mit Bioethanol fahren, können meist mit jedem beliebigen Gemisch aus Ethanol und Benzin fahren. Bei Ethanol handelt es sich im Wesentlichen um dasselbe Produkt, welches auch als Brennsprit im Handel erhältlich ist. Ethanol ist leicht brennbar, hat eine ähnliche Dichte wie Benzin, und ist im Gegensatz zu Benzin mit Wasser in jedem beliebigen Verhältnis mischbar. Sein Siedepunkt ist niedriger als der von Wasser, ein Boil-Over ist deshalb ausgeschlossen.

Foto: Mario Roberto Duran Ortiz / Wikipedia

Fahrzeuge, die mit einem beliebigen Gemisch aus Bioethanol und Benzin fahren können. Solche Fahrzeuge sind in Brasilien weit verbreitet, werden aber seit wenigen Jahren auch in der Schweiz angeboten.

Benzin ist aufgrund des enthaltenen Benzens (eine chemische Verbindung) hochgiftig und krebserregend. Diese Eigenschaften hat Ethanol nicht. Er ist nur leicht giftig, denn es handelt sich um dieselbe Substanz, die auch in Schnaps, Bier und Wein als Alkohol enthalten ist. Durch übelschmeckende Zusätze wird sichergestellt, dass sich der als Treibstoff bestimmte Ethanol nicht zum Konsum eignet.

Gerade weil Ethanol einerseits weniger gefährlich ist als Benzin, andererseits aber Autos, die Ethanol als Treibstoff nutzen können, auch mit reinem Benzin fahren können, weiss man nie, was genau im Tank ist. Deshalb sollen Autos mit Ethanolantrieb gleich wie herkömmliche Benzinautos gehandhabt werden.

Biodiesel
Unter dem Begriff Biodiesel sind verschiedene synthetische Treibstoffe im Handel. Beim Biodiesel müssen, weil er in herkömmlichen Dieselfahrzeugen zum Einsatz kommt, die Stoffeigenschaften sehr nah an denen von Diesel sein. Dadurch ergeben sich im Feuerwehralltag keine Unterschiede, zumal bei einem Dieselfahrzeug auch nicht zu erkennen ist, ob es Diesel oder Biodiesel getankt hat.

Wasserstoff in Verbrennungsmotoren
Wasserstoff wurde in Experimentalfahrzeugen (die Firma BMW ist hier führend) auch in Verbrennungsmotoren eingesetzt. Diese Technik ist aber weniger energiesparend wie die Brennstoffzelle, weshalb kaum zu erwarten ist, dass dieser Ansatz weiterverfolgt werden wird. Die Gefahren des Wasserstoffs bleiben dieselben, die hohe Explosionsgefahr beim Austritt, der enorm hohe Druck oder die sehr tiefen Temperaturen von Wasserstoff in verflüssigter Form.

Fazit
Bereits das Erkennen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebsarten stellt die Feuerwehren vor enorme Probleme. Die Fahrzeuge sind bis auf Beschriftungen an der Heckklappe, die oft nicht sehr aussagekräftig sind, von aussen identisch mit diesel- oder benzinbetriebenen Fahrzeugen.
Für die wichtigsten Fahrzeugtypen mit Alternativantrieb wie den Toyota Prius, macht es Sinn, die Rettungskarte in den Einsatzfahrzeugen mitzuführen. Sie kann eine wichtige Hilfe sein, um die Komponenten im Auto zu suchen und zu identifizieren.
Mit dem entsprechenden Wissen können auch Brände und Unfälle mit Fahrzeugen, die alternative Antriebe haben, erfolgreich gelöst werden. Wenn man aber vor dem brennenden Fahrzeug steht, ist es zu spät, sich noch Wissen anzueignen!

Nicole J. Seitz, Milizfeuerwehr Zürich

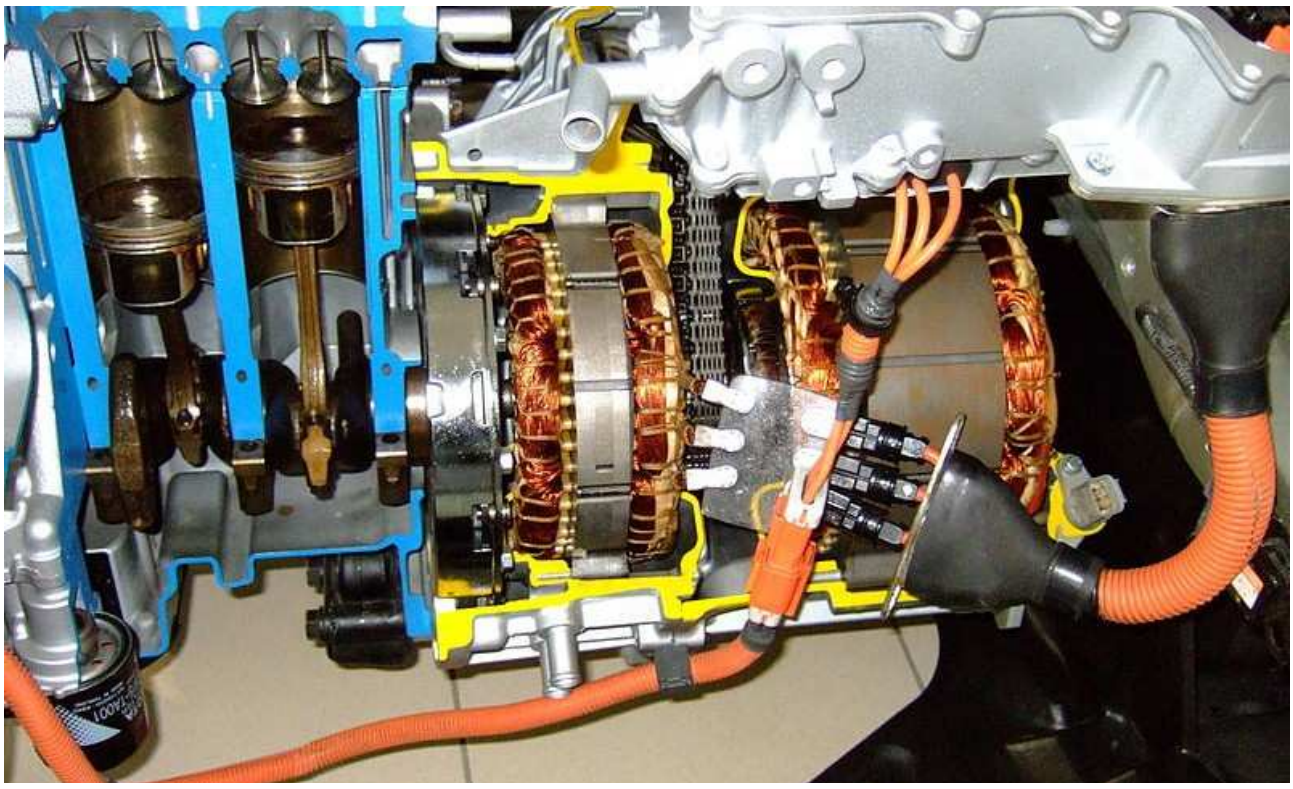


Foto: Jbasic / Wikipedia

Der aufgeschnittene Motor eines Toyota Prius. Gut zu erkennen sind die elektrischen Teile rechts, wobei alle Bauteile, in denen eine hohe Spannung fliesst, in orange gehalten sind, und deshalb sehr gut auffallen. Selbstverständlich können diese aber mit den Jahren durch Schmutz ihre leuchtend orange Farbe auch verlieren.

■ ACHTUNG

Gasfahrzeuge

Austritt von gasförmigen Treibstoffen

- Grossräumig absperren, Personen aus der Gefahrenzone bergen (100 Meter)
- Zündquellen fernhalten, Batterien nach vorherigem Einschäumen abtrennen
- Gaszufuhr durch Abziehen des Zündschlüssels unterbrechen
- Messungen der Explosionsgrenzen mit Explosimeter
- Luftzirkulation sicherstellen, Achtung: nur Ex-geschützte Lüfter verwenden
- Auf Gasgeruch achten

Entstehungsbrand im Motorraum

- Grossräumig absperren, Personen aus der Gefahrenzone bergen (100 Meter)
- Brand löschen, evtl. Treibstofftank kühlen
- Angriff von der Fahrzeugfront her
- Messungen der Explosionsgrenzen mit Explosimeter
- Luftzirkulation sicherstellen, Achtung: nur Ex-geschützte Lüfter verwenden

Fahrzeugvollbrand

- Grossräumig absperren, Personen aus der Gefahrenzone bergen (100 Meter)
- Eintreffende Kräfte halten Abstand (100 Meter), im Gefahrenbereich so wenig Kräfte wie möglich
- Löschen aus der Ferne mit schweren Mitteln (Hochdruckleitung, Monitor)
- Gase können jederzeit mit einer Stichflamme über Überdruckventile abblasen
- Wenn Brand gelöscht, weiterkühlen für 30 Minuten
- Brennenden Gastank kontrolliert ausbrennen lassen
- Kontrolle mit Wärmebildkamera und Explosimeter

Wasserstofffahrzeuge

- Tank keinesfalls berühren (Gefahr von Erfrierungen)
- Wasserstoff ist sehr explosionsgefährlich, weiträumig absperren
- Zündquellen fernhalten (Elektrizität, Funken, elektronische Geräte)
- Wasserstoff kann über Überdruckventil im Heckklappenbereich oder am Dach austreten
- Achtung, brennender Wasserstoff ist im Sonnenlicht nicht sichtbar

Biodiesel (R100) und Ethanol (E85 & E100)

- Diese Fahrzeuge brauchen keine andere Vorgehensweise wie herkömmliche Benzin- und Dieselfahrzeuge

Elektro- und Hybridfahrzeuge

- Zündschlüssel abziehen
- An der 12-Volt-Starterbatterie den Minuspol (schwarz) trennen
- Hochvolt-Teil mittels des Netztrennschalters (Rettungskarte konsultieren) von der Batterie abtrennen (Elektrikerhandschuhe tragen, Brandschutz komplett)
- Keine orangefarbenen Teile berühren (Hochvoltige Kabel und Batterie)
- Hochvoltbatterie kann explodieren, aus der Batterie können ätzende Substanzen austreten. Nicht berühren! Schutzkleidung, Handschuhe und umluftunabhängigen Atemschutz tragen. Bei Kontakt mit der Haut sofort mit viel Wasser abwaschen.
- Beim Löschen die Sicherheitsabstände für Elektrobrände einhalten (Sprühstrahl 1 Meter, Vollstrahl 5 Meter)