

Der Pyrobustor – zwei Praxisbeispiele zur Klärschlammpyrolyse

Uwe Neumann und Réka Tittesz

1.	Theoretische Grundlagen zur thermischen Klärschlammverwertung im Pyrobustor	468
2.	Praxisbeispiele	477
2.1.	Praxisbeispiel 1 ARA Pustertal AG	477
2.2.	Praxisbeispiel 2 KSV GmbH	480
3.	Zusammenfassung und Ausblick.....	482

Allgemein bekannt ist die thermisch oxidative Verwertung von teilgetrockneten Klärschlämmen in Form der Monoverbrennung in stationären Wirbelschichtfeuerungen. Ein solches Verfahren bietet sich grundsätzlich als zentraler Verwertungspfad bei größeren Kläranlagen an, wie es sich z.B. seit Jahren im Klärwerk Karlsruhe bewährt hat.

Ebenfalls bekannt ist der Einsatz von getrockneten Klärschlämmen in der Zementindustrie, was aber auch sofort die Problematik bei der thermischen Verwertung von Klärschlämmen aufzeigt. Während eine als Monoverbrennung ausgeführte Klärschlammverwertungsanlage den Grenzwerten einer Abfallverbrennungsanlage unterliegt, gelten bei dem Einsatz von Klärschlamm in der Zementindustrie die weniger strengen Grenzwerte der Zementindustrie, d.h., bei dem gleichen Ausgangsmaterial gelten in Abhängigkeit vom gewählten Entsorgungspfad unterschiedliche Grenzwerte.

Wenn eine zentrale Monoverbrennung nicht direkt in der Nähe einer entsprechend großen Kläranlage angesiedelt wird, bedingt ihr Betrieb ein vergleichsweise hohes Transportaufkommen, um die zu verwertenden Klärschlämme in ausreichender Menge bereit zu stellen. Ähnliches lässt sich auch hinsichtlich des Einsatzes von Klärschlamm in der Zementindustrie feststellen, auch hier ist häufig ein erhöhtes Transportaufkommen erforderlich.

Da ein Bedarf für dezentrale Lösungen zur thermischen Verwertung vorhanden war und noch ist, definierte sich darüber die Aufgabenstellung, eine den daraus resultierenden Anforderungen entsprechende Anlagentechnik zu konzipieren. Aus wirtschaftlichen Gründen konnte dabei ein einfaches scale-down einer stationären Wirbelschicht ausgeschlossen werden. Interessanterweise haben sich gleich zwei Anbieter unabhängig voneinander dazu entschieden, für die dezentrale Klärschlammverwertung das Pyrolyseverfahren als *unit operation* einzusetzen. So gibt es z.B. am Standort der Kläranlage Balingen eine auf dem Wirbelschichtverfahren basierende Klärschlammvergasung mit einem angegebenen Durchsatz von etwa 150 kg/h an TS, was etwa 75.000 EW entspricht¹.

¹ Götzelmann & Partner; Reinhold Rolle; Erfahrungen bei dem Pilotprojekt: Vergasung von Klärschlamm

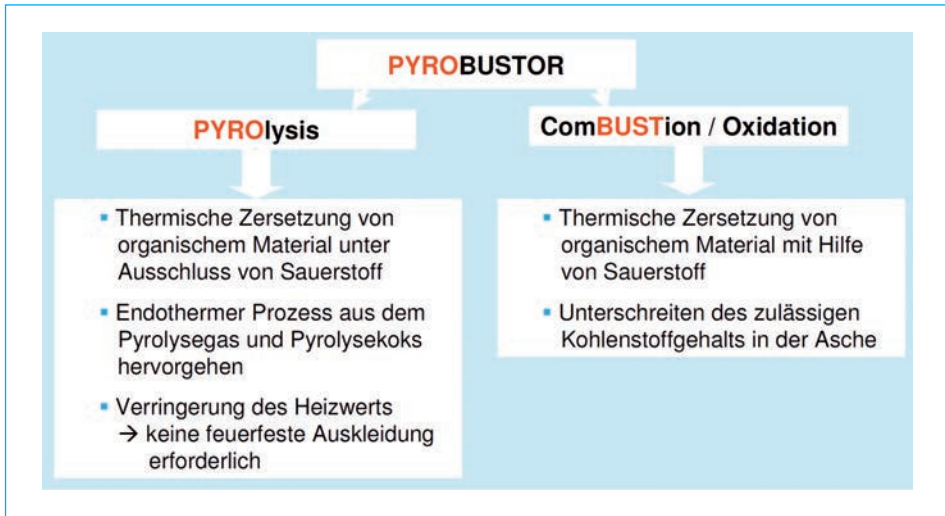


Bild 2: Darstellung der Herleitung des Kunstnamens Pyrobustor

Quelle: Neumann, U.: VDI-Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Oktober 2010

Da die adiabate Verbrennungstemperatur von getrocknetem Klärschlamm weit über 1.000 °C liegt, könnte das Ziel einer maximal zulässigen Temperatur innerhalb der thermischen Behandlungseinheit Pyrobustor einfach durch einen entsprechenden Luftüberschuss erreicht werden, was aber dem Anspruch der Entwicklung eines wirtschaftlich attraktiven Verfahrens widersprochen hätte. Um neben der angestrebten Temperatur innerhalb der thermischen Behandlungseinheit Pyrobustor auch eine möglichst geringe Abgasmenge bei gleichzeitiger Erfüllung der Anforderungen der Ablagerungsverordnung (Deponie Klasse 1, Glühverlust < 3 % der TS) zu erreichen, stellt der Pyrobustor eine integrale Lösung in Form einer technischen Umsetzung von zwei *unit operations* in einem Apparat dar.

Der für die thermische Verwertung eingesetzte Klärschlamm wurde dabei aufbauend auf zur Verfügung gestellten Analysen für die Erstellung von Massen- und Energiebilanzen, wie in Tabelle 1 zusammengefasst, definiert. Dabei wurde versucht, die Vielzahl unterschiedlicher, im Klärschlamm enthaltener organischer Verbindungen durch die Auswahl von zwei geeigneten Referenzsubstanzen abzubilden. Diese gehen dann jeweils mit unterschiedlichem Masseanteil in die Modellzusammensetzung ein.

Der in Tabelle 1 als KS bezeichnete, auf 10 % Wassergehalt getrocknete Klärschlamm wird der ersten Zone des Pyrobustors, der Pyrolysezone, über ein gasdichtes Eintragsystem kontinuierlich zugeführt. In der Pyrolysezone wird der eingetragene Klärschlamm zunächst vollständig getrocknet und anschließend pyrolytisch in ein Pyrolysegas mit einem höheren Heizwert als der des Eingangsmaterials und einen Pyrolysekoks mit einem niedrigeren Heizwert als der des Eingangsmaterials aufgespalten.

Tabelle 1: Als Grundlage für die theoretischen Betrachtungen gewählte Modellzusammensetzung von Klärschlamm

	Zusammensetzung TS		Zusammensetzung KS	
	Gew-%			
Organik	55	49,5		
	$C_6H_{10}O_5$	$C_{18}H_{30}O_2$	$C_6H_{10}O_5$	$C_{18}H_{30}O_2$
	41,29	13,71	37,16	12,34
N_2	5		4,5	
P_2O_5	6		5,4	
S	0,5		0,5	
Cl	0,2		0,2	
Inertanteil	33,3		30	
Wasser	–		10	

Die jeweiligen Abmessungen der beiden Zonen des Pyrobustors sind nach der Fertigung des Pyrobustors nicht mehr veränderbar, diese werden bei der Konstruktion des Apparats entsprechend den Eigenschaften des thermisch zu verwertenden Klärschlamm definiert. Aus diesem Grund ist es erforderlich, den Pyrobustor mit einem Klärschlamm zu betreiben, der mit der zur Auslegung genannten Referenzzusammensetzung vergleichbar ist. Sollte sich z.B. der Wassergehalt im zugeführten Edukt im Vergleich zu der für die Auslegung genannten Referenzzusammensetzung stark erhöhen, würde die Verweilzeit und der Wärmeeintrag in der Pyrolysezone nicht mehr ausreichend sein, um neben der jetzt erforderlichen Trocknung auch noch die bestimmungsgemäße Pyrolyse ablaufen zu lassen. Die Konsequenz daraus wäre, dass das zugeführte Edukt in der Pyrolysezone nur noch getrocknet, aber nicht bzw. fast nicht mehr pyrolytisch degradiert würde, was zur Folge hätte, dass die thermische Belastung der Oxidationszone deutlich über den Auslegungswert steigen würde, was wiederum sogar zu thermischen Beschädigungen der Anlage führen könnte.

Beim bestimmungsgemäßen Betrieb der Pyrobustor-Anlage erfolgt die pyrolytische Degradation des aufgegebenen Klärschlamm in der Pyrolysezone. Das erzeugte Pyrolysegas wird mittels eines Transferrohrs durch die Oxidationszone hindurch direkt in die Nachbrennkammer geführt, wo es zur Deckung des für die Nachverbrennung der erzeugten Abgase erforderlichen Energiebedarfs dient. Im Transferrohr wird das Pyrolysegas aufgrund der heißeren Umgebung innerhalb der Oxidationszone noch überhitzt und teilweise thermisch gecrackt, was eine Kondensation langkettiger Kohlenwasserstoffe innerhalb der Pyrolysegasleitung vom Pyrobustor zur Nachbrennkammer sicher unterbindet.

Der gleichzeitig erzeugte Pyrolysekoks wird der Oxidationszone zugeführt und dort durch die überstöchiometrische Zugabe von Sekundärluft oxidiert. Die dabei entstehenden Abgase werden aus der Oxidationszone ausgetragen und über einem Zwischenerhitzer der Pyrolysezone zugeführt, um durch einen indirekten Wärmeeintrag den Wärmebedarf des endothermen Pyrolyseprozesses zu decken. Der Zwischenerhitzer ist mit einem separaten Erdgasbrenner ausgerüstet, so dass ein ggf. zusätzlich auftretender Wärmebedarf im Pyrolysebereich sicher abgedeckt werden kann.

Die Pyrolysezone und die Oxidationszone des Pyrobustors sind, wie in Bild 3 gezeigt, direkt miteinander verbunden, da es sonst nicht möglich wäre, den Pyrolysekoks sicher aus der Pyrolysezone in die Oxidationszone einzutragen. Ein Einströmen von Verbrennungsluft aus der Oxidationszone in die Pyrolysezone bzw. ein Strömen von Pyrolysegas aus der Pyrolysezone in die Oxidationszone innerhalb des Pyrobustors wird durch eine entsprechende Einstellung der lokalen Druckverhältnisse innerhalb des Pyrobustors sicher unterbunden.

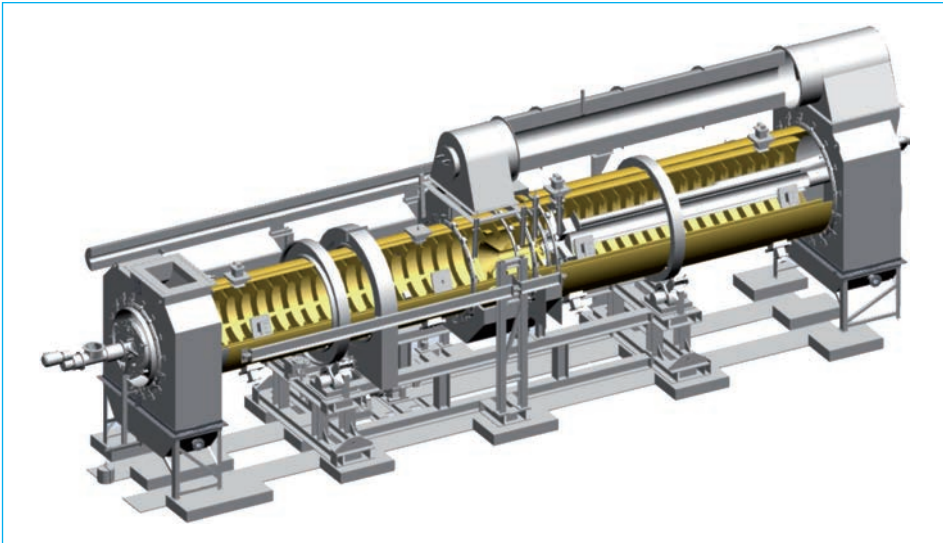


Bild 3: Konstruktionszeichnung eines Pyrobustors

Da es an einer bestehenden Pyrobustor-Anlage aufgrund ihrer konstruktiven Ausführung praktisch unmöglich ist, Betriebsmessungen hinsichtlich der erzeugten Menge an Pyrolysekoks durchzuführen, es gleichzeitig aber auch bislang nicht gelungen ist, belastbare Messungen des Volumenstroms an erzeugtem Pyrolysegas in Abhängigkeit von der zugeführten Menge an getrocknetem Klärschlamm sowie seine Zusammensetzung online zu messen, wurde aufgrund der bekannten Betriebsdaten eine theoretische Modellierung der innerhalb des Pyrobustors ablaufenden Mechanismen erarbeitet.

Rechnerische Modellierung der innerhalb des Pyrobustors ablaufenden Prozesse

Für die theoretische Modellierung wurden die bei der Betriebsdatenerfassung der Pyrobustoranlage in Südtirol protokollierten Daten zugrunde gelegt. In Bild 4 sind diese für die theoretische Modellierung genutzten Daten zusammengefasst.

Wie in Bild 4 gezeigt, sind folgende Betriebsdaten bekannt:

- zugeführte Menge an Klärschlamm (90 % TS; HuTS ~ 11.700 kJ/kg),
- Betriebstemperatur Pyrolysezone: 300 bis 350 °C,
- Betriebstemperatur Oxidationszone: 620 bis 650 °C,

- Temperatur Pyrolysegas,
- dem System über Brenner zugeführte Energie,
- Oberflächenverluste des Pyrobustors und der Nachbrennkammer.

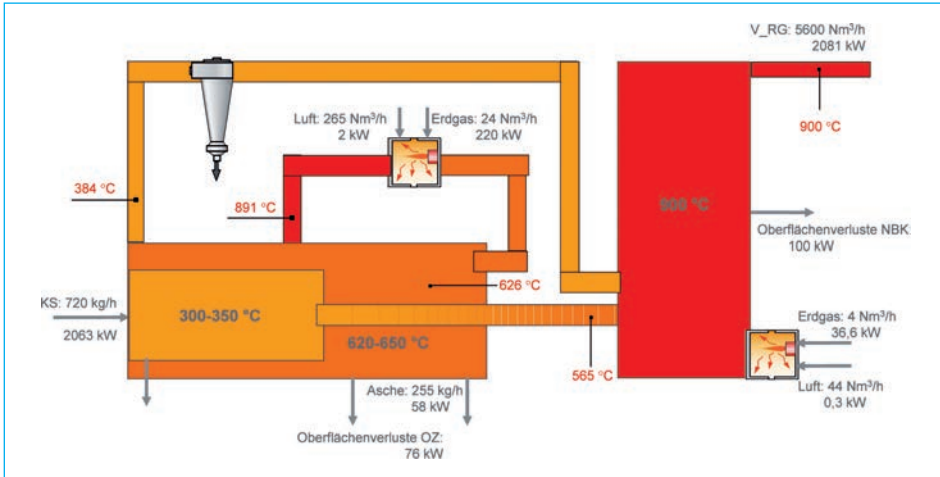


Bild 4: Zusammenfassung der bekannten Prozessparameter basierend auf der Betriebsdatenerfassung der Anlage in Südtirol

In Bild 5 sind entsprechend die für die Abbildung der ablaufenden Prozesse erforderlichen, aber unbekannt Daten zusammengefasst.

Wie in Bild 5 zusammenfasst, lassen sich die Betriebsparameter

- Menge und Energiegehalt des entstehenden Pyrolysegas,
- Menge und Energiegehalt des entstehenden Pyrolysekoks.

konstruktionsbedingt innerhalb des Pyrobustors nicht messtechnisch bestimmen.

Die jeweils benötigten Oxidationsluftmengen lassen sich grundsätzlich messen, eine entsprechende Messtechnik konnte jedoch aufgrund der beengten Platzverhältnisse und den deshalb fehlenden, geraden Rohrstücken an der Anlage in Südtirol nicht installiert werden.

Die in der Oxidationszone des Pyrobustors entstehende Abgasmenge lässt sich über den Energieeintrag in diesen Abgasstrom berechnen.

Mit den bekannten Werten für die Ein- und Ausgangstemperatur der Abgase in die Zwischenerhitzung sowie dem eingetragenen Wärmestrom und der bekannten Luftzahl λ des eingesetzten Brenners lässt sich der Massenstrom Abgas aus der Oxidationszone durch die nachfolgenden Gleichungen berechnen.

$$\Delta Q = m \cdot C_p \cdot \Delta \delta \quad m_{\text{-OxiRG}} = \frac{\Delta Q}{C_p \cdot \Delta \delta}$$

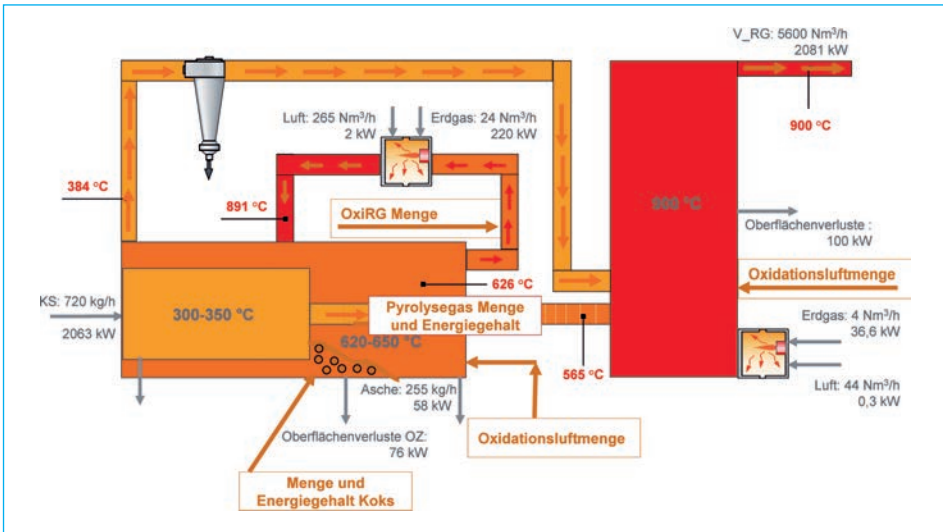


Bild 5: Zusammenfassung der nicht bekannten Prozessparameter bei der Pyrobustor-Anlage

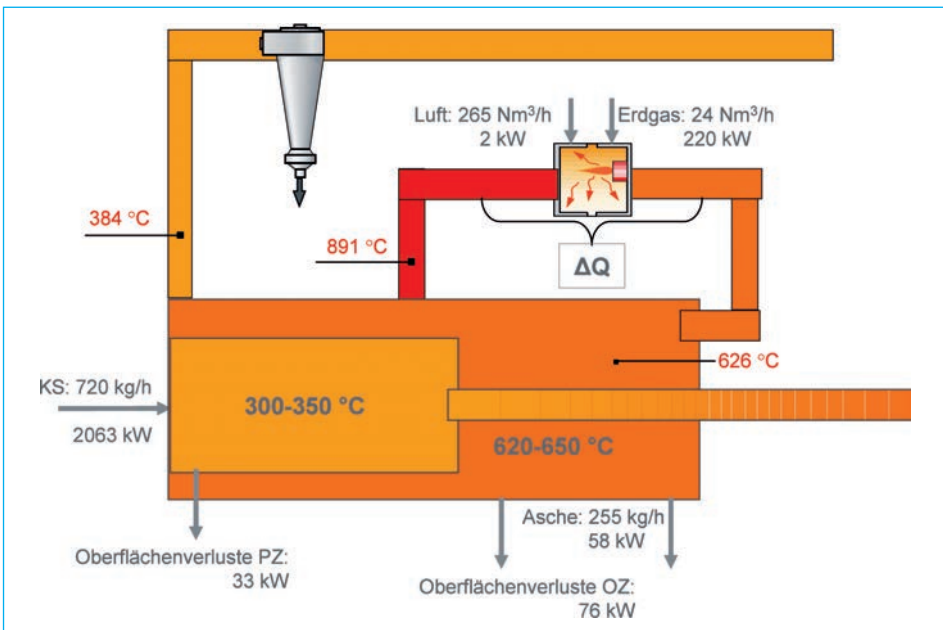


Bild 6: Bestimmung der Abgasmenge ex Oxidationszone anhand des eingetragenen Wärmestroms

Ausgehend von der theoretischen Annahme einer vollständigen Oxidation der über dem Klärschlamm der Pyrobustoranlage eingetragenen Organik und dem daraus resultierenden (theoretisch) erforderlichen Oxidationsluftstrom lässt sich anhand der nun bekannten Abgasmenge ex Oxidationszone die in die Oxidationszone eingetragene Oxidationsluftmenge iterativ berechnen.

Auf der Grundlage des Gesetzes der Erhaltung der Massen wurde aufbauend auf den nun bekannten Daten für die zugeführten Massenströme die Menge an anfallendem Pyrolysegas bestimmt.

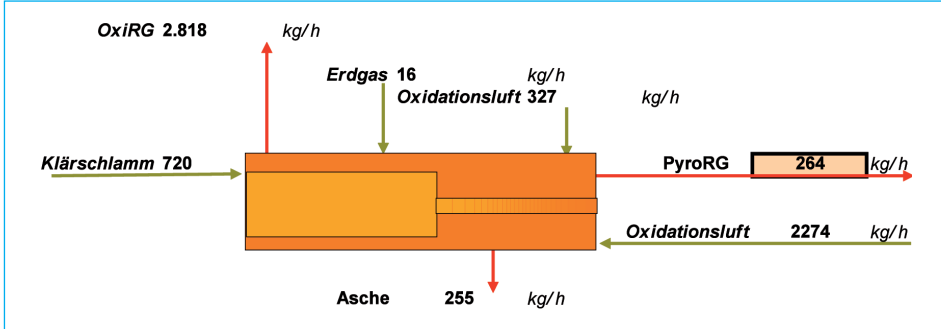


Bild 7: Massenbilanz zur Bestimmung des erzeugten Massenstroms Pyrolysegas

Mit dem ermittelten Massenstrom Pyrolysegas lässt sich die erzeugte Menge an Pyrolysekoks anhand einer Massenbilanz um die Pyrolysezone des Pyrobusters berechnen.

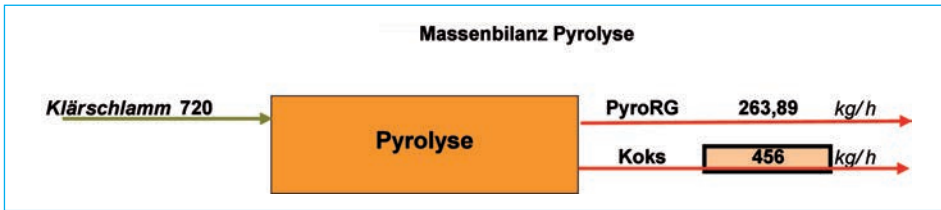


Bild 8: Massenbilanz zur Bestimmung des erzeugten Massenstroms Pyrolysekoks

Die Abgase aus der Oxidationszone des Pyrobusters werden über einen Zyklon der Nachbrennkammer des Systems zugeführt. Parallel dazu wird das erzeugte Pyrolysegas der Nachbrennkammer zugeführt, wo es den für die Nachverbrennung dieser Abgase erforderlichen Energiebedarf deckt. Damit ist bekannt, dass der Energiegehalt des der Nachbrennkammer zugeführten Pyrolysegases ausreicht, um den bekannten Massenstrom an Abgas von seiner Eintrittstemperatur in die Nachbrennkammer auf deren Betriebstemperatur von 900 °C und die für eine vollständige Oxidation des Pyrolysegases erforderliche Luftmenge bei einem sich einstellenden Restsauerstoffgehalt von 11 Vol.-% von Umgebungstemperatur auf 900 °C aufzuheizen. Die über den Stützbrenner des Brenners der Nachbrennkammer eingetragene Energie wird entsprechend subtrahiert.

Dieser Berechnungsansatz ist in der nachfolgenden Gleichung zusammengefasst:

$$Q_{\text{PyroRG}} = m_{\text{OxiRG}} \cdot \overline{CP} \Big|_{384^{\circ}\text{C}}^{900^{\circ}\text{C}} \cdot \Delta\delta_{(900 - 384^{\circ}\text{C})} + M_{\text{Oxidationsluft}} \cdot \overline{CP} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{900^{\circ}\text{C}} \cdot \Delta\delta_{(900 - 20^{\circ}\text{C})} + Q_{\text{Oberflächenverluste}} - Q_{\text{External_heat}}$$

Mit dem so berechneten Energiegehalt des Pyrolysegases und dem über die Massenbilanz entsprechend Massenstrom lässt sich der Heizwert des Pyrolysegases bestimmen.

$$Q_{PG} = m_{PG} \cdot Hu_{PG} \rightarrow Hu_{PG} = \frac{Q_{PG}}{m_{PG}}$$

Die Tatsache, dass sich bei Pyrolysegas, sobald es nur geringfügig abgekühlt wird, eine nennenswerte Menge an Teerkondensat in allen produktführenden Rohrleitungen niederschlägt, ist ein Beleg dafür, dass neben den typischen Komponenten wie CO, CO₂, CH₄, H₂ und einem geringen Anteil an kurzkettigen Kohlenwasserstoffen auch eine erhebliche Menge an polyzyklischen, aromatischen Verbindungen im Pyrolysegas enthalten sein müssen. Gleichzeitig findet sich prozessbedingt auch der im Klärschlamm enthaltene Wasseranteil im Pyrolysegas wieder. Darauf aufbauend und unter Berücksichtigung des berechneten Massenstroms an Pyrolysegas sowie seines spezifischen Heizwerts lässt sich die Zusammensetzung des erzeugten Pyrolysegases wie in Tabelle 2 zusammengefasst, annehmen.

Tabelle 2: Iterativ bestimmte Zusammensetzung des erzeugten Pyrolysegases

Beschreibung	Pyrolysegaszusammensetzung			
	mol-%	kmol/h	kg/h	Ma.-%
CH ₄	11,96	1,20	19,19	7,27
H ₂ O	39,90	4,00	72,00	27,28
CO ₂	10,22	1,02	45,09	17,09
CO	23,93	2,40	67,16	25,45
H ₂	4,79	0,48	0,96	0,36
C ₂ H ₄	4,10	0,41	11,51	4,36
C _x H _y O _z	5,09	0,51	47,97	18,18
Summe	100,00	10,02	264	100,00

Basierend auf der nun bekannten Zusammensetzung des Pyrolysegases lässt sich der benötigte Massenstrom an Oxidationsluft für das Pyrolysegas über die dazugehörige Stöchiometrie bestimmen.

Über eine entsprechende Energiebilanz (Bild 9) lässt sich auch der Energiegehalt des erzeugten Pyrolysekoks bestimmen.

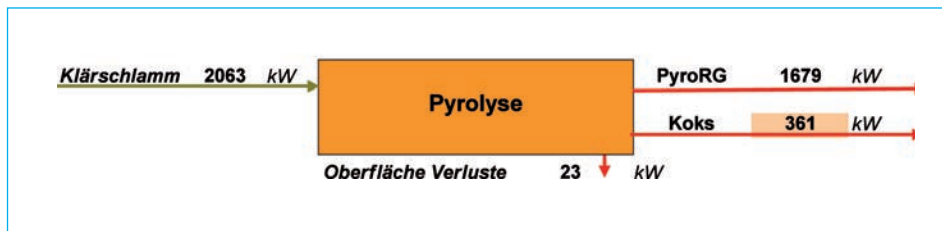


Bild 9: Energiebilanz zur Bestimmung des Energiegehalts des Massenstroms Pyrolysekoks

Die in den vorangestellten Berechnungen und Annahmen ermittelten Ergebnisse sind nachfolgend noch einmal in Form einer grafisch dargestellten Massen- und einer analog dazu dargestellten Energiebilanz zusammengefasst.

In Bild 10 ist die Pyrobustoranlage einschließlich der Nachbrennkammer schematisch als Massenbilanz dargestellt. Dabei wird der Pyrobustor als liegende Einheit gezeigt, bei welcher die Pyrolysezone sowie die Pyrolysegasleitung in einem hellen Orangeton dargestellt sind, während die Oxidationszone sowie die indirekte Beheizung in einem dunklen Orangeton dargestellt sind. Der Einfachheit halber ist die schematische Darstellung des Pyrobustors direkt mit der senkrecht stehenden, rot gezeichneten Nachbrennkammer verbunden. Alle in das System ein- bzw. ausgetragenen Massenströme sind eingetragen. Auf eine gesonderte Darstellung des Zwischenerhitzers für den Abgasstrom ex Oxidationszone des Pyrobustors wurde verzichtet.

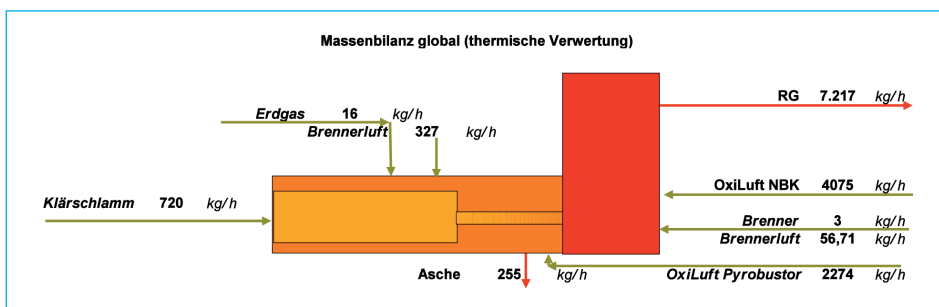


Bild 10: Massenbilanz der Pyrobustoranlage einschließlich Nachbrennkammer

In Bild 11 ist analog zu Bild 10 die entsprechende Energiebilanz für die Pyrobustoranlage einschließlich Nachbrennkammer dargestellt.

In den vorangestellten Ausführungen wurde gezeigt, dass sich die innerhalb des Pyrobustors ablaufenden Prozesse basierend auf wenigen Betriebsmessungen theoretisch modellieren lassen. Mit dieser Modellierung liegt ein Werkzeug vor, welches es ermöglicht, noch besser als bisher bestehende Pyrobustoranlage gemäß Kundenanfragen zu optimieren bzw. neue Pyrobustoranlagen maßgeschneidert auszulegen.

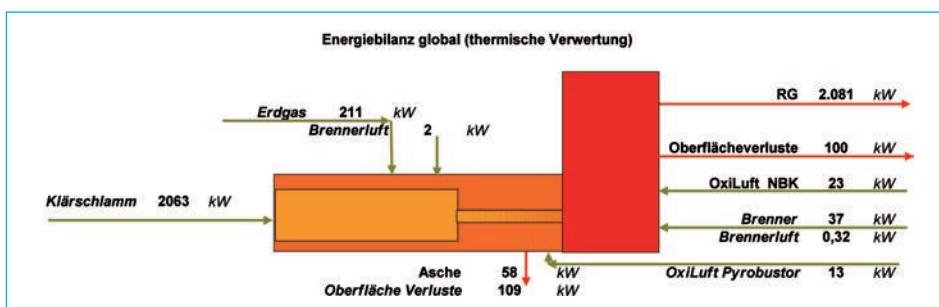


Bild 11: Energiebilanz der Pyrobustoranlage einschließlich Nachbrennkammer

2. Praxisbeispiele

2.1. Praxisbeispiel 1 ARA Pustertal AG

Die Abwassereinigungsanlage (ARA) befindet sich etwa 70 km südlich des Brenners in der Nähe von Bruneck, hat ein Einzugsgebiet von etwa 1.150 km², dient der Klärschlamm Entsorgung von 14 Kommunen und ist für 450.000 EGW ausgelegt.²

Das Einzugsgebiet der ARA Pustertal AG ist in Bild 12 dargestellt.

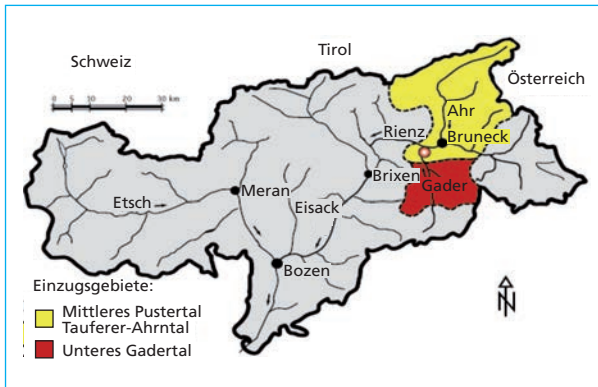


Bild 12:

Einzugsgebiet der ARA Pustertal AG

Quelle: Engl, K.: The History of Thermal Waste Recycling at ARA Tobl

Im Rahmen eines offenen Ideenwettbewerbs wurde die thermische Verwertung der bei der ARA Pustertal AG anfallenden Klärschlämme ausgeschrieben, die bis zu diesem Zeitpunkt in die etwa 300 km entfernte Poebene zur Entsorgung transportiert wurden. Das von Eisenmann vorgestellte Konzept der dezentralen Verwertung der anfallenden Klärschlämme bei gleichzeitiger Bereitstellung der Wärmeenergie für die seit 1998 vorhandene Klärschlamm-Trocknungsanlage überzeugte die Jury, so dass Eisenmann 2004 der Auftrag für den Bau einer Pyrobustor-Anlage mit einem Durchsatz von 550 kg/h an getrocknetem Klärschlamm mit einer Restfeuchte von 10 % erhielt. Das Gesamtkonzept der bei der ARA Pustertal AG installierten thermischen Klärschlamm Entsorgungsanlage ist in Form eines vereinfachten Grundfließbilds in Bild 13 dargestellt.

Die in diesem Bild mit dargestellte Trockneranlage für den anfallenden Klärschlamm einschließlich der dazugehörigen Abluftreinigung war bereits bei der ARA Pustertal AG vorhanden, so dass der Lieferumfang von Eisenmann den gesamten thermischen Prozess beginnend mit der Eintragsvorrichtung für den getrockneten Klärschlamm in den Pyrobustor bis hin zum Kamin beinhaltete. Ziel war es, die bei der thermischen Verwertung des getrockneten Klärschlamm freiwerdende Energie für den vorhandenen Trocknungsprozess zu nutzen, um eine annähernd energieautarke Klärschlammverwertung betreiben zu können.

² Dr. Konrad Engl; The History of Thermal Waste Recycling at ARA Tobl

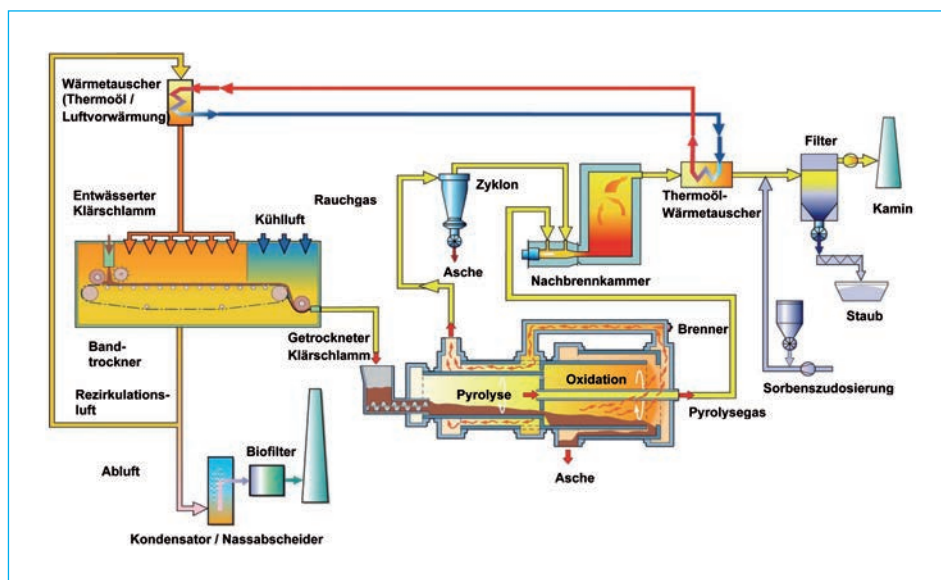


Bild 13: Vereinfachtes Grundfließbild der bei der ARA Pustertal AG realisierten thermischen Klärschlammverwertungsanlage

Wie bereits bei den theoretischen Grundlagen aufgezeigt, wird im Pyrobustor ein Pyrolysegas erzeugt, welches den Energiebedarf der nachgeschalteten Abgasnachverbrennung deckt. Der bei der Pyrolyse innerhalb des Pyrobustors erzeugte Pyrolysekoks wird in der Oxidationszone des Pyrobustors oxidiert, die dabei entstehenden Abgase werden abgezogen und über eine Überhitzungsstufe der Pyrolysezone zugeführt, die durch die heißen Abgase indirekt beheizt wird. Die dadurch abgekühlten Abgase werden nach ihrem Austritt aus dem Heizmantel der Pyrolysezone der Nachbrennkammer zugeführt. Um die Staubbelastung der Nachbrennkammer und der nachgeschalteten, als trockene Abgasreinigung ausgeführte Schadstoffabscheidung zu minimieren, wird der Abgasstrom vor seinem Eintritt in die Nachbrennkammer in einem Zyklon vorentstaubt.

Nach der Nachbrennkammer ist ein Abhitzesystem in Form eines Thermoölsystems installiert, über welches der Wärmebedarf des kundensetigen Trockners gedeckt wird. Das darüber abgekühlte Abgas wird anschließend an einem Gewebefilter entstaubt, gleichzeitig werden durch die Zugabe von Natriumbicarbonat und Aktivkohle sowohl die sauren Bestandteile als auch die im Abgas mit transportierten Schwermetalle sicher entsprechend den Grenzwerten der EU-Direktive 2000/76 abgeschieden.

Die sichere Einhaltung der Grenzwerte, wie sie in Tabelle 3 zusammengefasst ist, ist aufgrund der Lage der ARA Pustertal AG in einem touristisch stark frequentierten Gebiet zwingend erforderlich.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der einzuhaltenden Grenzwerte mit den tatsächlich erreichten Emissionswerten

Parameter	Typ	Grenzwerte mg/Nm ³	Mittel mg/Nm ³
CO	online	50	2,20
NO _x	online	200/400	148
Staub	online	10/30	3,10
C _{total}	online	10/20	0,3
SO ₂	online	50/200	41
HF	In situ	1/4	0,5
HCl	In situ	10/60	3
Dioxine – Furane	In situ	0,1 ng I-TE/Nm ³	0,005 ng I-TE/Nm ³
PAK	In situ	0,01 mg/Nm ³	< 0,001 mg/Nm ³

Quelle: Neumann, U.: VDI-Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Oktober 2010

Die Besonderheit des Anlagenstandorts ist in Bild 14 verdeutlicht.



Bild 14:

ARA Pustertal AG mit Kläranlage und thermischer Klärschlammverwertung einschließlich vorgeschalteter Trocknung

Während die Kläranlage durch den Betreiber vollständig in den Berg Tobl hinein gebaut wurde (rotgestrichelter Kreis), befinden sich Pyrobustoranlage und Trockner im vorgelagerten Gebäude.

Die sich seit 2005 in Betrieb befindliche Anlage wurde durch den Betreiber in enger Zusammenarbeit mit Eisenmann kontinuierlich optimiert, so dass der Betreiber heute in der Lage ist, die Anlage, statt mit 550 kg/h getrocknetem Klärschlamm (90 % TS) entsprechend der Auslegung, sie mit bis zu 720 kg/h an getrocknetem Klärschlamm (90 % TS) zu beschicken. Dabei erreicht die Anlage Verfügbarkeiten von über 95 %. Gleichzeitig ergeben sich für die ARA Pustertal AG folgende Vorteile:

- langfristige Entsorgungssicherheit und Unabhängigkeit,
- Einsparung von etwa 2.200 Tonnen CO₂ pro Jahr,
- Einsparung von 311.000 LKW-Kilometern pro Jahr.

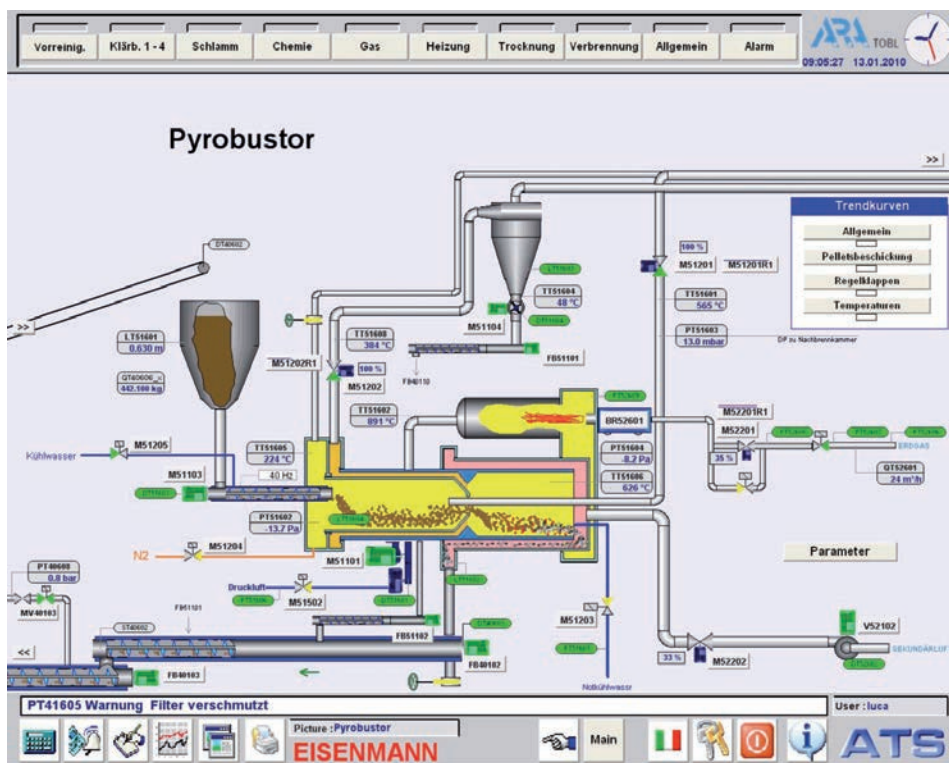


Bild 15: Screen shot der Visualisierung der Anlagensteuerung des Pyrobustors

2.2. Praxisbeispiel 2 KSV GmbH

Die KSV GmbH (KSV ↔ Klärschlammverwertung) wurde 2005 von den Stadtwerken Crailsheim gegründet. Ziel der KSV ist die umweltgerechte Verwertung von Klärschlamm in einer Kombinationsanlage bestehend aus einem Biomasseheizkraftwerk und einer Pyrobustoranlage für die thermische Verwertung (Mineralisierung) von Klärschlamm.³

2007 errichtete Eisenmann im Auftrag der KSV seine zweite Pyrobustoranlage. Im Gegensatz zu der Anlage in Südtirol wurde die Anlage für die KSV für einen Durchsatz von 650 kg/h an getrocknetem Klärschlamm (etwa 90 % TS) ausgelegt, gleichzeitig wurde die Abwärmenutzung in diesem Fall in Form einer Dampferzeugung ausgeführt. Der erzeugte Dampf wird in das Dampfnetz des benachbarten Biomasseheizkraftwerkes eingespeist, gleichzeitig wird diesem Dampfnetz die für die Trocknung des Klärschlammes erforderliche Energie entnommen. Der verbleibende Dampfmassenstrom wird für die Erzeugung von elektrischer Energie genutzt. Der Verbund aus der thermischen Verwertungsanlage für Klärschlamm und einem Biomasseheizkraftwerk wird auch das *Crailsheimer Modell* genannt.

³ <http://www.stw-crailsheim.de/stadtwerke-crailsheim/kommunen/ksv-gmbh.html>

Eine vereinfachte schematische Darstellung dieses Modells mit der Kennzeichnung des von Eisenmann erbrachten Lieferumfangs ist in Bild 16 gezeigt.

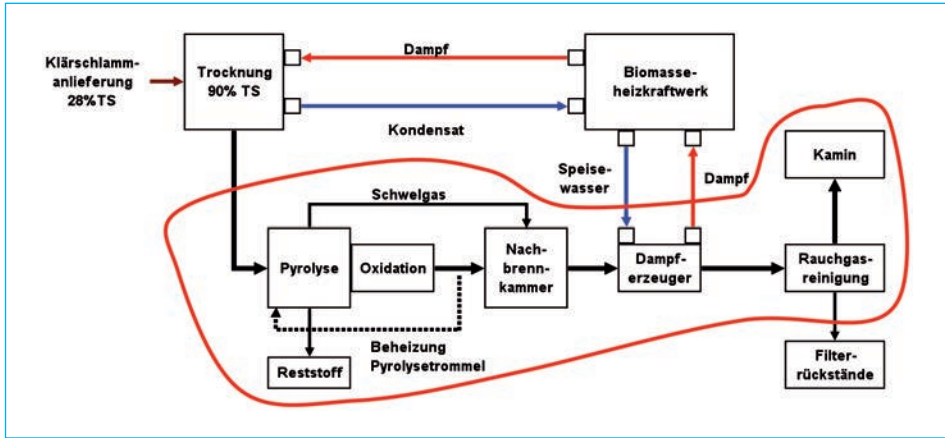


Bild 16: Schematische Darstellung des Crailsheimer Modells; gekennzeichnete Lieferumfang von Eisenmann

Quelle: 86. Abfallwirtschaftliches Kolloquium der Universität Stuttgart, 24. und 25. September 2008

Nach einer erfolgreichen Montage konnte die Anlage in Betrieb genommen und an den Kunden übergeben werden.

In Bild 17 ist der Pyrobustor während der Inbetriebnahmephase gezeigt. Im Vordergrund ist der stirnseitige Eintrag für den getrockneten Klärschlamm über eine Vibrationsrinne zu erkennen, dem schließt sich die Pyrolysezone des Pyrobustors an. Im hinteren Bereich ist die Oxidationszone zu erkennen, welche durch die darüber liegende Zwischenerhitzung für das Abgas ex Oxidationszone gekennzeichnet ist. Dieses Abgas dient der Deckung des Wärmebedarfs der Pyrolysezone, bevor es über einen Zyklon der Nachbrennkammer zugeführt wird.



Bild 17:

Pyrobustoranlage in Crailsheim während der Inbetriebnahme

3. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die Pyrolyse von Klärschlämmen ein sicheres, wirtschaftliches und funktionierendes Verfahren darstellt. Diese Aussage wird insbesondere durch den langjährigen und störungsfreien Betrieb der Anlage in Südtirol untermauert. Durch die Erarbeitung einer umfangreichen theoretischen Modellierung der Vorgänge innerhalb des Pyrobustors liegt darüber hinaus ein Werkzeug vor, mit welchem es möglich ist, die Pyrobustoranlagen massgeschneidert entsprechend Kundenanforderungen auszulegen und zu dimensionieren.

Aufgrund seines Aufbaus und seiner Wirtschaftlichkeit stellt der Pyrobustor eine zukunftsweisende Anlagentechnik für die dezentrale thermische Verwertung von getrockneten Klärschlämmen dar. Der Focus liegt dabei auf Anlagen mit einer Durchsatzleistung zwischen 400 kg/h und 800 kg/h an getrocknetem Klärschlamm (etwa 90 % TS).

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 8

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-60-3

ISBN 978-3-935317-60-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dipl.-Ing. Ernst Thomé, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc. und Dr.-Ing. Stephanie Thiel

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Dipl.-Kffr. Elke Czaplewski, Petra Dittmann,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.