

ENERGIEEFFIZIENZPOTENZIAL IN DER PLANUNG AM BEISPIEL DER BRAUEREI-INDUSTRIE

Studie im Auftrag des Sächsischen
Staatsministeriums für Umwelt und
Landwirtschaft

ABSCHLUSSBERICHT

Energieeffizienzpotenzial in der Planung am Beispiel der Brauerei-Industrie

Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz

**Dipl. Wirt.-Ing. Michael Cherkaskyy, Dipl. Math. Christin Fanghänel, Dipl. Betr.(FH) Annegret Esche,
Dr. -Ing. Andreas Schlegel**

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
in Chemnitz, Dresden, Augsburg und Zittau.

Projektnummer: 139050

Inhalt

Management Summary	5
1 Zielstellung und Konzeption der Studie	8
1.1 Aufgabenstellung	8
1.2 Vorgehen bei der Erstellung der Studie	9
2 Ausgangssituation	10
2.1 Brauereiindustrie	10
2.1.1 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	11
2.1.2 Aktuelle Gesetzeslage	12
2.2 Brauereiaufbau	13
2.3 Energieverteilung in der Brauerei	15
2.4 Merkblatt für die besten verfügbaren Techniken	19
3 Methodische Elemente der Studie	22
3.1 Analyse spezieller Studien und F&E Berichte	22
3.2 Mathematisches Modell zur Potenzialanalyse	24
3.3 Industrienumfrage	31
4 Ergebnisse.....	33
4.1 Musterbrauerei	33
4.2 Energieeinsparpotenziale	36
4.2.1 Sudhaus.....	37
4.2.2 Gärung und Lagerung.....	38
4.2.3 Abfüllung.....	39
4.2.4 Infrastruktur.....	40
4.2.5 Kombinierte Maßnahmen	42
4.3 Gesamtergebnis.....	43
5 Fazit.....	47
Literaturverzeichnis.....	51
Anlage A: Fragebogen	53
Anlage B: Auswertung der Umfrage	58
Anlage C: Relevante Maßnahmen.....	61
C1: Sudhaus.....	61
C2: Gärung/Lagerung.....	64
C3: Abfüllung.....	65
C4: Infrastruktur.....	66
Anlage D: Quellenangaben zu den Maßnahmen	69

Im Hinblick auf den angestrebten bundeseinheitlichen Vollzug des §5 Abs.1 Nr.4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BlmschG) erweist es sich als hilfreich, fundierte Schätzungen zu den Energieeffizienzpotenzialen zu erhalten, die typischerweise in der Planungsphase industrieller Anlagen erschließbar sind. Diese Potenziale sind in Relation zu den Möglichkeiten zu sehen, die auch im laufenden Betrieb beispielsweise mittels Energiemanagementsystem (EMS) erschlossen werden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden Unternehmen der Ziffer 7.27 des Anhangs 1 der 4. BImSchV, d.h. Brauereien, als exemplarische Branche ausgewählt. Nachdem in der vorangegangenen Studie, Potenziale der Gießereiindustrie eruiert wurden, fiel die Wahl nun auf die ebenfalls energieintensive Branche der Brauereien. Der monetäre Nutzeffekt, der durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in diesen Unternehmen erzielt werden kann, ist nicht zu vernachlässigen und stellt einen wichtigen Motivator dar.

Um grundlegende Informationen für eine qualifizierte Schätzung der adressierbaren Einsparpotenziale und damit einhergehend eine Entscheidungsgrundlage zur Verfügung stellen zu können, erfolgte im Rahmen der Studie zunächst eine Auswertung verfügbarer Literatur.

Neben der Analyse dieser Informationsquellen stellte die Umfrage innerhalb des sächsischen Brauereigewerbes einen wesentlichen Bestandteil der Untersuchungen dar. Abschließend wurde in offenen Gesprächen mit ausgewählten Partnern des Industriezweiges die finale Verifizierung der Maßnahmen vorgenommen.

Im Ergebnis entstanden Erkenntnisse und Ansätze, die Entscheidungsträgern aus Industrie, Forschung und Politik aufzeigen, wie der Aspekt der Energieeffizienz bei der Planung industrieller Anlagen berücksichtigt werden kann und in welchem Umfang Einsparpotenziale in den einzelnen Prozessen adressiert werden können.

Die ermittelten Einsparmöglichkeiten wurden im Rahmen der vorliegenden Studie in zwei Kategorien eingeteilt:

- Maßnahmen, welche einer Genehmigung nach BImSchG bedürfen, da sie im Rahmen einer Neuplanung (Errichtung einer neuen Brauerei bzw. Erweiterung einer bestehenden) oder einer Änderungsplanung (bestehende Anlagen werden modernisiert oder ersetzt) erfolgen.
- Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, die auch im laufenden Anlagenbetrieb realisierbar sind und keiner Genehmigung bedürfen.

Bei der Begutachtung der Literatur wurde bereits ersichtlich, dass zumeist unterschiedliche Bezugsgrößen für die Energieeinsparungen angeführt sind. Dies erschwerte die Potenzialabschätzung erheblich und führte dazu, dass eine Vergleichbarkeit der Resultate nicht ohne die Vereinheitlichung derer, hergestellt werden konnte. Für die Untersuchungen war es jedoch essentiell, eine Bezugsgröße zur Beurteilung des Energieverbrauchs bzw. der -einsparung zur Verfügung stellen zu können.

Nach der Auswertung verschiedener Informationsquellen sowie der durchgeführten Umfrage können folgende Kernaussagen zu den Energieeffizienzpotenzialen festgehalten werden:

- Die Brauereibranche ist eine sehr energiebewusste Branche. Alle im Katalog enthaltenen 89 Maßnahmen waren der Allgemeinheit der befragten Brauereien bekannt.
- Im Ergebnis der Umfrage konnte festgestellt werden, dass 43 von 89 Maßnahmen bereits umgesetzt sind bzw. sich momentan in der Umsetzung befinden. Diese wurden in die Potenzialschätzung nicht einbezogen.
- 22 der 46 verbleibenden Maßnahmen (ca. 48 %) sind nur der Planungsphase zugeordnet und erfordern hohe Investitionen oder eine Genehmigung. Sie haben einen Anteil von 73% (entspricht 25,27 kWh/hl) am Gesamteinsparpotenzial von 34,66 kWh/hl.
- 20 der 46 Maßnahmen (ca. 43 %) sind mit kurzen Anlagenstilllegungen im Betrieb durchführbar, können jedoch auch in der Planungsphase der Anlagen berücksichtigt werden. Sie haben einen Anteil von 26 % (entspricht 8,97 kWh/hl) am Gesamteinsparpotenzial von 34,66 kWh/hl.
- Folglich können ca. 91 % aller Maßnahmen bereits in der Planung berücksichtigt werden. Zusammen haben Sie einen Anteil von 99% am Gesamteinsparpotenzial.
- Nur 4 aus 46 Maßnahmen (ca. 9 %) sind Verbesserungen, die keine Investitionen und Stilllegungen erfordern. Sie weisen lediglich ein Einsparpotenzial von ca. 0,42 kWh/hl auf, was ca. 1% des Gesamteinsparpotenzials entspricht.
- Veränderungen im Unternehmen, die auf Basis einer genehmigungsbedürftigen Planung durchgeführt werden, erzielen größere Einsparungen als einzelne, im Betrieb umsetzbare Maßnahmen.
- Große Einsparungen lassen sich nur durch Technologiesubstitution erzielen.
- Die durch Mitarbeiter beeinflussbaren Energieeinsparungspotenziale sind, aufgrund des hohen Automatisierungsgrades der Branche als eher gering einzuschätzen.
- Durch Nutzung des aus Produktionsabfällen erzeugten Biogases in Verbindung mit einem Block-Heiz-Kraftwerk (BHKW) mit Absorptionswärmekühler kann ein erheblicher Teil des Energiebedarfs gedeckt werden.
- Bei Entscheidungen über die Durchführung von Neuinvestitionen spielt die Amortisationszeit eine wichtige Rolle. "Ein Return on Invest" kleiner drei Jahre wird dabei als Zielstellung ausgegeben. Die genannte zeitliche Restriktion kann allerdings nicht immer eingehalten werden, ganz besonders bei Kernanlagen mit einer hohen Nutzungsdauer (ca. 20 Jahre). Hier werden Investitionen durch strategische Planung vorgegeben.
- Der Tausch einzelner Aggregate zur Verbesserung der Energieeffizienz einer Anlage hängt auch von der Möglichkeit der zukünftigen Wartung dieser ab.

Unter Berücksichtigung der in der Studie vorgestellten Maßnahmen und Ergebnisse können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Durch Technologiesubstitution und unkonventionellen Denkweisen können hohe Potenziale im Sudhaus erschlossen werden. Zudem sind Forschung und Entwicklung sowie die Bereitschaft zur Ergebnisumsetzung wesentliche Faktoren, um in diesem Bereich große Verbesserungen bezüglich der Energieeffizienz in der Produktion erreichen zu können.
- Das Betreiben von biogaserzeugenden und -verbrauchenden Anlagen (Block-Heiz-Kraftwerk mit Absorptionskältemaschine) kann ein großer Schritt in Richtung Energieautarkie in den Brauereien sein. Hinderlich dabei ist, dass die Genehmigung derartigen Anlagen sehr aufwändig und kompliziert ist. Die fehlende Planbarkeit für die Zukunft, aufgrund sich ändernder Rahmenbedingungen bei der Energiegesetzgebung, bremst die Investitionen in diese Technologien aus.
- Die Ausstattung der Anlagen (z.B. Dampfverbrauchern) mit Energiemesspunkten kann noch weiter ausgebaut werden, um neben der Verbrauchsübersicht und Systemoptimierung auch die durch Störungen oder Leckagen auftretenden Mehrverbräuche frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Durch die Speicherung von Energiedaten sind zudem rückwirkende Analysen möglich.

1 Zielstellung und Konzeption der Studie

1.1 Aufgabenstellung

Für den angestrebten einheitlichen Vollzug des § 5 Abs. 1 Nr.4 des Bundes-Immissionschutzgesetzes erweist es sich als dringlich, fundierte Schätzungen zu den Energieeffizienzpotenzialen zu erhalten, die typischerweise in der Planungsphase industrieller Anlagen erschließbar sind bzw. die durch die, in dieser frühen Phase getroffenen Entscheidungen (u.a. zu Standorten, Technologien und Investitionen) ausgeschlossen werden können.

Im Rahmen einer vorangegangenen Studie wurden die Potenziale für Eisen-, Stahl- und Temperguss Gießereien (4.BImSchV, Anhang 1, Ziffer 3.7) untersucht. Aus dem Ergebnis heraus entstand der Bedarf, eine vergleichbare Studie für eine weitere energieintensive Branche, das Brauereigewerbe (4.BImSchV, Anhang 1, Ziffer 7.27), durchzuführen. Im Sinne der Vergleichbarkeit und Wiedererkennung entspricht das Untersuchungskonzept in seinem Grundaufbau dem, der vorangegangenen Studie.

In der durchgeführten Untersuchung wurden Auswertungen der verfügbaren Literatur sowie eine Umfrage zwischen den Wissens- und Entscheidungsträgern durchgeführt, um eine qualifizierte Schätzung zu denen, in der Planungsphase von Brauereien bzw. Brauereianlagen adressierbaren Energieeffizienzpotenzialen vorzunehmen und um diese in Relation zu dem Potenzial, das typischerweise im laufenden Betrieb erschlossen werden kann, zu stellen. Diese Kombination des theoretischen Wissens und der praktischen Erfahrung soll dem Ziel dienen, möglichst anwendungsnahe Ergebnisse zu erhalten.

Die Haupthypothese lautet:

(H1) Veränderungen im Unternehmen auf Basis einer genehmigungsbedürftigen Planung erzielen größere Einsparungen als einzelne Maßnahmen, die ausschließlich im Betrieb durchgeführt werden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden weitere untergeordnete Hypothesen untersucht:

(H2) Durch die Nutzung von Speichern können Energieeffizienzpotenziale erschlossen werden.

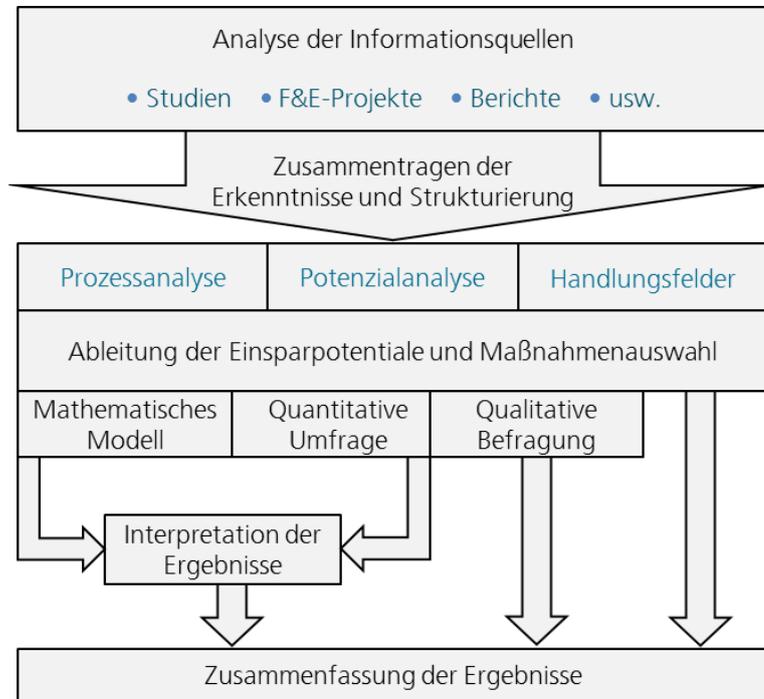
(H3) Es besteht eine Korrelation zwischen dem Wasser- und Energieverbrauch.

(H4) Der Energieeffizienz kommt in großen und kleinen Unternehmen eine unterschiedliche Bedeutung zu und auch die Energieverteilungsstruktur ist unterschiedlich.

Diese Annahmen sollen, im Verlauf der Studie untersucht und zur Bildung einer Gesamtaussage herangezogen werden.

1.2 Vorgehen bei der Erstellung der Studie

Im folgenden Abschnitt wird die Vorgehensweise bei der Erstellung der Studie näher erläutert. Eine schematische Darstellung der Inhaltlichen Schwerpunkte kann aus der folgenden Abbildung entnommen werden.



.....
Zielstellung und Konzeption der Studie
.....

Abb. 01:
Schematische Darstellung des Vorgehens bei Erstellung der Studie

Ausgehend von der Analyse der Informationsquellen wurde die Ausgangssituation (Kap.2) der Brauereibranche erfasst. Diese beinhaltete neben den wirtschaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen, einen Überblick über die relevanten Prozesse sowie die Verbräuche und deren Verteilungen in den einzelnen Gewerken. Durch diese Betrachtung wurde ein Verständnis über den Energiehaushalt der Brauereien entwickelt und studienrelevante Bereiche hervorgehoben. Empfehlungen aus den BVT-Merkblättern bildeten den Ausgangspunkt für die Maßnahmenrecherche.

Nachfolgend werden die methodischen Kernelemente der Studie (Kap.3) dargelegt. Diese umfassen die Ausführungen zu den ausgewählten Quellen und deren Verwendung in der Studie, die Formulierung des mathematischen Modells zur Ermittlung des Gesamtpotenzials der Energieeinsparung in der Planungsphase industrieller Anlagen und das Vorgehen bei der Durchführung der Umfrage zur Definition einer Modellbrauerei (Referenz).

Die Auswertung der Ergebnisse (Kap.4) beinhaltet die Analyse der eruierten Energieeffizienzmaßnahmen bezüglich ihrer Zugehörigkeit zur Planungsphase sowie der praktischen Umsetzungsreife. Die Resultate fließen in die Schätzung des, in der Planung adressierbaren Energieeffizienzpotenzials industrieller Anlagen im Vergleich zu dem, der Betriebsphase ein.

Im Ergebnis (Kap.5) entstehen Erkenntnisse und Ansätze für Entscheidungen in Industrie, Forschung und Politik. Diese sollen aufzeigen, in welchem Maße und wie dem Aspekt der Energieeffizienz schon bei der Planung genehmigungspflichtiger, industrieller Anlagen in der Brauereibranche entsprochen werden kann und wie hoch die adressierbaren Energieeffizienzpotenziale sind.

2 Ausgangssituation

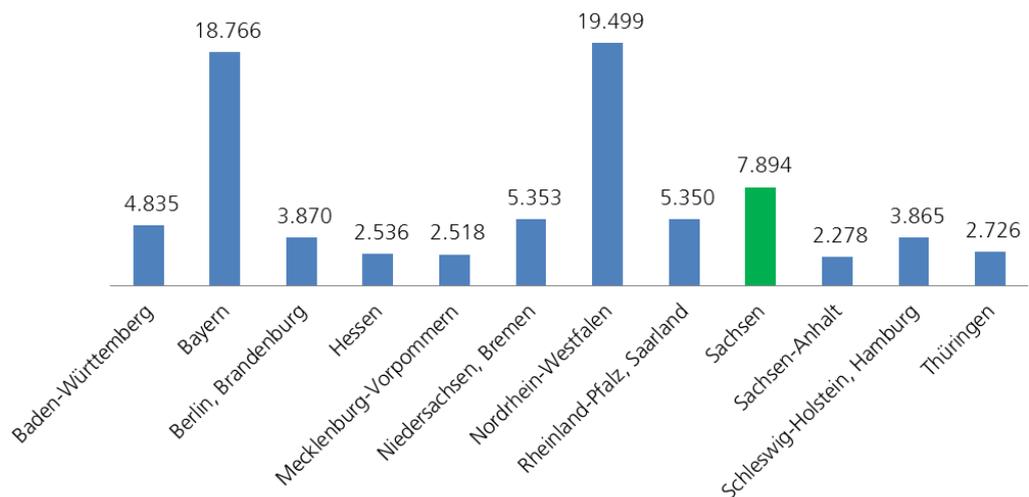
2.1 Brauereiindustrie

Schon im Jahr 1434 wurde im Wirtshausgesetz des Ortes Wißensee ein vorläufiges Reinheitsgebot für Bier fest geschrieben. Mittlerweile zählt das deutsche Bier zu einem der beliebtesten alkoholischen Getränke in Europa und ist weltweit anerkannt. Im internationalen Vergleich steht Deutschland an vierter Stelle in der Bierproduktion hinter China, den USA und Brasilien¹ und hält in Europa die Spitzenposition inne².

Einer der Gründe für diese Spitzenposition ist, das seit dem Jahr 1516 geltende Reinheitsgebot. Der Markt in Deutschland ist unter mehr als 1.300³ verschiedene Brauereien aufgeteilt, welche über 5.000 verschiedene Biermarken (ca. 90.000 Thl im Jahr⁴) produzieren. Die Zahl umfasst Brauhäuser, die Bier nur regional vertreiben sowie Brauereien, die in die ganze Welt exportieren. Der Großteil der Braustätten fällt unter die sogenannten Kleinst- oder Gasthausbrauereien, welche lediglich 1,5 % der deutschen Jahreserzeugung ausmachen. Die typische mittelständige Brauerei mit einem Ausstoß zwischen 20 Thl und 500 Thl produziert ca. ein Viertel der Jahresproduktion in Deutschland. Großbrauereien machen lediglich 5 % aller Betriebe aus, jedoch liegt der Anteil am jährlichen Bierausstoß weit über 70 %.⁵

Auch Sachsen blickt auf eine jahrhundertlange Tradition des Bierbrauens zurück und baut seine Spitzenposition als Bierland Nr.1 in den neuen Bundesländern immer weiter aus. Hinter Nordrhein-Westfalen und Bayern ist Sachsen das drittgrößte Herstellerland in Deutschland und wird in jährlichen Qualitätsprüfungen mit seiner hervorragenden Qualität ausgezeichnet.

Abb. 02:
Bierabsatz in Deutschland
2015 in 1000 hl*



* Bierabsatz versteuert, statista 02.03.2016

¹ Statista I, 2014

² Statista II, 2014

³ Deutscher Brauerbund, 2016

⁴ Statista II, 2014

⁵ UNI Kassel, 2012

2.1.1 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Ausgangssituation

Während die Bierproduktion weltweit stetig weiter wächst, befindet sich der nationale Markt durch den jahrelangen Rückgang des Bierkonsums in einem starken Preiskampf.

Die Brauereien sind durch den zunehmenden Kostendruck für Rohstoffe, Wasser, Energie und die saisonale Abhängigkeit gezwungen, alle Optimierungspotenziale auszuschöpfen um langfristig am Markt bestehen zu können.

Diese Herausforderung resultiert aus den Faktoren:

- Sparsame Energieverwendung ist ein enormer Wettbewerbsvorteil, denn für eine Flasche Bier müssen ca. 0,15 kWh eingesetzt werden (pro Hektoliter ca. 40 kWh – 50 kWh)⁶. Davon fallen ca. 75 % für die Bereitstellung der Prozesswärme an.
- Der durchschnittliche Anteil der Energiekosten an den Produktionskosten beträgt ca. 5 – 10 %.
- Nachhaltiges Wirtschaften beinhaltet sparsamen Einsatz der Ressourcen und wirkt sich damit unmittelbar positiv auf den Umweltschutz aus.

Die Aufteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Energieträger, Abb.03, zeigt einerseits deutlich den großen Stellenwert von Erdgas und impliziert andererseits, dass ein Großteil der eingesetzten Energieträger zur Bereitstellung von Wärme benötigt werden.⁷

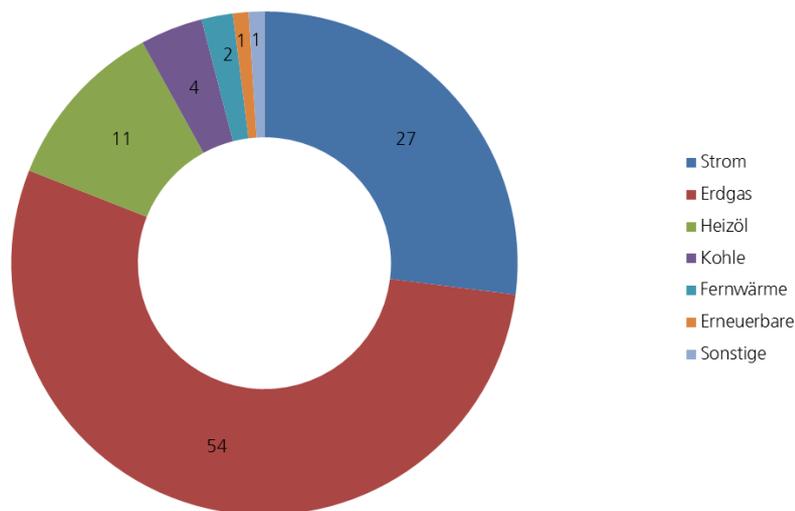


Abb. 03:
Anteil der im Brauwesen verwendeten Energieträger in Prozent⁸

Rund dreiviertel der Energie werden in einer Brauerei für die Bereitstellung der Prozess-, Raumwärme und Warmwasser aufgewendet. Da die Preisstruktur der einzelnen Energieträger relativ ähnlich ist, nehmen Strom und Wärme hinsichtlich der Kosten etwa den gleichen Stellenwert ein. Durch die tendenziell steigenden Energiepreise spielt daher die Reduktion des Energieverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen und Einbindung regenerativer Energien eine wichtige Rolle bei der Wettbewerbsfähigkeit.⁹

⁶ UNI Kassel, 2011

⁷ UNI Kassel, 2012

⁸ Statistisches Bundesamt Deutschland, 2010

⁹ UNI Kassel, 2012

2.1.2 Aktuelle Gesetzeslage

Obwohl Deutschland bereits über einen weit entwickelten Markt für Energieaudits, Energiedienstleistungen und anderen Effizienzmaßnahmen verfügt, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um diese Ziele der Bundesregierung:

- **Klimaschutz:** 40 % weniger Treibhausgasemissionen bis 2020 (im Vergleich zu 1990) und 80 % bis 95 % weniger bis 2050
- **Erneuerbare Energien:** mindestens 35 % Anteil am Stromverbrauch bis 2020, bis 2050 mindestens 80 %
- **Gebäude:** Senkung des Wärmebedarfs bis 2020 um 20 %, bis 2050 soll der gesamte Energiebedarf bis zu 80 % fallen
- **Effizienz:** Senkung des Energieverbrauchs bis 2020 um 20 % (im Vergleich zu 2008), bis 2050 um 50 %
- **Stromverbrauch:** Senkung bis 2020 um 10 %, bis 2050 um 25 %
- **Verkehr:** Gegenüber 2005 soll der Treibstoffverbrauch bis 2020 um 10 % zurückgehen, bis 2050 um 40 %¹⁰

zu erreichen.

Eine wichtige Weiche für das Erreichen der nationalen Ziele wurde mit dem „Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP)“, welches die Bundesregierung am 05.12.2007 beschlossen hat, gelegt. Es umfasst 29 Maßnahmen, die vor allem für mehr Energieeffizienz und einem größeren Anteil erneuerbarer Energien, stehen.

Das IEKP¹¹ umfasst unter anderem folgende, die Brauereiindustrie betreffenden Ziele:

- **Kraft-Wärme-Kopplung:** Verdopplung des Anteils auf 25 % bis 2020.
- **Intelligente Messverfahren für Stromverbrauch:** Zügige Verbreitung von neuen Technologien im liberalisierten Strom-Messwesen zur zeitgenauen Verbrauchsmessung als Voraussetzung für Stromeinsparungen.
- **Einführung moderner Energiemanagementsysteme:** Realisieren der umfangreichen Effizienzverbesserungspotenziale in der Industrie.
- **Einspeiseregulierung für Biogas in Erdgasnetze:** Erleichterung der Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz. Dezentral erzeugtes Biogas soll verstärkt effizient und zielgerichtet in der Kraft-Wärme-Kopplung und als Kraftstoff eingesetzt werden.
- **Erneuerbare-Energien Wärmegesetz:** Anteil der erneuerbaren Energien soll auf 14 % bis 2020 erhöht werden.

Ein Kontrollorgan, welches das Erreichen der energiepolitischen Zielsetzung sicherstellen soll, ist das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). In §2 Abs. 1 Satz 1 ist geregelt, dass „die Errichtung und der Betrieb von Anlagen“ genehmigungsbedürftig ist. Außerdem ist in §5 Abs. 1 Nr. 4 als eine der Pflichten der Betreiber festgelegt, dass die Anlagen so zu errichten sind, dass „Energie sparsam und effizient verwendet wird“.

¹⁰ 3sat, 2015

¹¹ bmwi, 2016

2.2 Brauereiaufbau

Bevor die Analyse zu energetischen Potenzialen in Brauereien innerhalb der Planungsphase erfolgen konnte, wurden folgende Punkte untersucht:

- Wie sind die Brauereien aufgebaut?
- Welche Energieverbräuche gibt es?
- Wie ist der Verbrauch der Energie strukturiert?
- Wie sieht der idealtypische Brauprozess aus?

Durch die Voruntersuchung sollte ein Überblick über den Brauereiprozess erarbeitet werden. Durch die Betrachtung des Gesamtenergieverbrauchs sowie dessen Verteilung auf einzelne Bereiche wurde ein Verständnis über den Energiehaushalt der Brauereien entwickelt und studienrelevante Prozesse hervorgehoben. Die Darstellung und Erläuterung des idealtypischen Brauprozesses und der vorhandenen Stoffströme, wurde für die Einordnung und Klassifikation der Verbesserungsmaßnahmen verwendet.

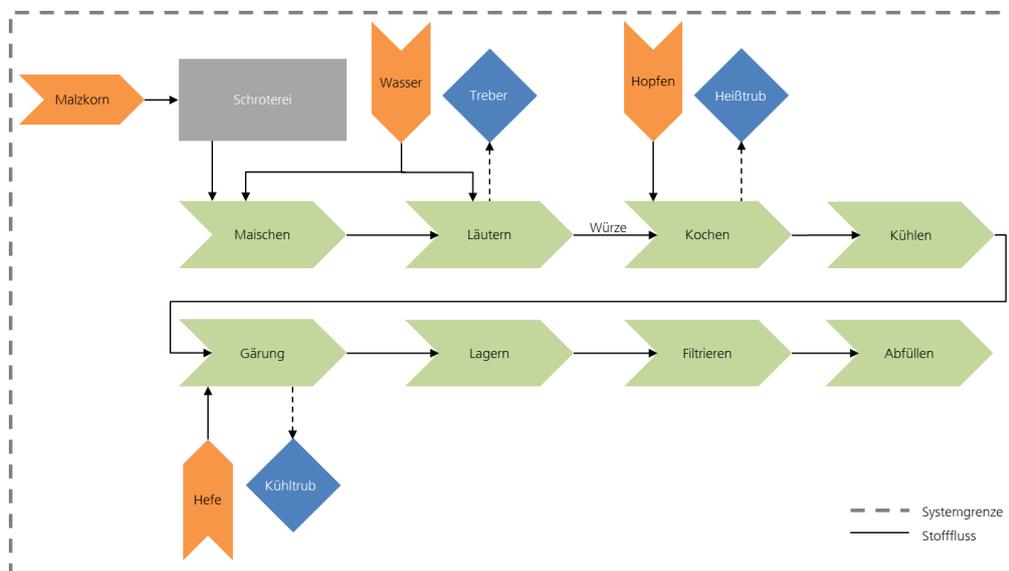


Abb. 04:
Stoffflüsse im Brauereiprozess

Im ersten Schritt der Bierproduktion, dem Maischen, wird das geschrotete Malz, nach dem Vermischen mit Brauwasser, in einer Sudpfanne erhitzt. Die im Malz enthaltene Stärke wird dabei in Malzzucker umgewandelt. Hierfür wird eine Temperatur von ungefähr 70 °C benötigt, welche wiederum später einen hohen Anteil an Abwärme bereitstellen kann.

Im nächsten Schritt folgt die Trennung der Treber von der Würze. Man spricht hierbei vom Läutern. Die Würze liegt in einer flüssigen Form vor und ist für die weitere Bierproduktion von Nöten. Die Treber sind die unlöslichen Stoffe der Maische. Oftmals werden sie nach dem Läutern einfach ohne weitere Verwendung entsorgt.

Anschließend folgt das Kochen. Die Würze wird hierzu in der Würzpfanne auf ca. 100 °C erhitzt. Dabei wird rund ein Viertel der gesamten Wärmeenergie des Betriebs benötigt. Mithilfe des hinzugegebenen Hopfens werden die Hopfenbitterstoffe ausgelöst. Um die Konzentration der Würze zu steuern ist es möglich, Dampf entweichen zu lassen. Des Weiteren bildet sich beim Kochen der sogenannte Heißtrub. Er wird in einem Whirlpool ausgeschieden. Beim Kochen fällt ebenfalls sehr viel Abwärme

an, welche prinzipiell für weitere, nachfolgende Schritte, oder auch für das Maischen eines neuen Brauvorgangs genutzt werden kann, da die Temperatur bereits höher ist, als benötigt.¹²

Für die Zugabe der Hefe und die anschließende Gärung ist die Würze momentan noch zu heiß, weswegen sie jetzt gekühlt werden muss. Der Vorgang dauert etwa eine Stunde und endet in der Anstelltemperatur des Bieres, welche für obergärige Hefe 20°C und für untergärige Hefe 6°C beträgt. Ist der Kühlvorgang abgeschlossen, erfolgt die Zugabe der Hefe.

Die Hefe ist wichtig für den nächsten und wichtigsten Schritt in der Bierproduktion, der Gärung. Dabei wird die erkaltete Flüssigkeit in Gärbehältnisse gegeben. Durch die Enzyme der Hefe erfolgt eine Aufspaltung des Malzuckers in Alkohol und Kohlensäure. Die Steuerung dieses Vorgangs erfolgt jeweils durch Kühlung dieser.¹³

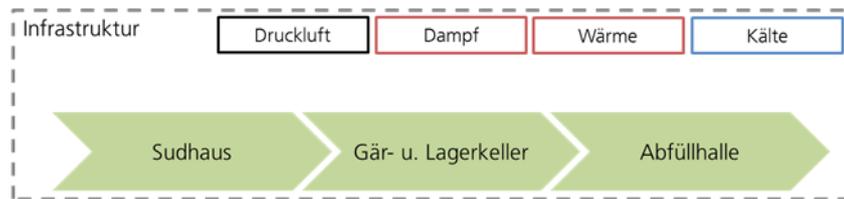
Um dem Bier abschließend sein unverwechselbares Aroma einzuflößen, kommt es anschließend zur Nachgärung im Keller. Bei einer Temperatur von ungefähr 0°C lagert es zwischen 2 und 6 Monaten oftmals in einem extra dafür angefertigten Lagerkeller.

Zur optionalen Verfeinerung des Bieres kann nun bei vielen, allerdings nicht bei allen, ein zusätzlicher Schritt eingefügt werden, die Filtrierung. Hierbei werden Hefereste und andere trübende Bestandteile entfernt. Die Filtrierung findet beispielsweise bei hefetrüben Weizenbieren nur grob und bei Zwicklbieren gar nicht statt¹⁴.

Der letzte Schritt in der Produktion umfasst die Befüllung der verschiedensten Gefäße von Dosen über Flaschen bis hin zu KEG-Fässern.¹⁵

Um eine qualifizierte Auswertung der erkannten Potenziale sicherzustellen, wurden die untersuchungsrelevanten Subsysteme von Brauereien mit ihren Elementen und Prozessen vereinfacht und in drei Bereiche gegliedert:

Abb. 05:
Vereinfachte Prozessdarstellung



Diesen Bereichen sind folgende Prozesse zugeordnet:

Tab. 1:
Aufteilung in die Subsysteme inklusive relevanter Prozesse

Bereiche	Zugeordnete Prozesse
Sudhaus	Maischen, Läutern, Kochen, Ausschlagen, Kühlen
Gär- u. Lagerkeller	Gären, Lagern, Filtrieren, Entalkoholisieren (optional), Haltbarmachen (optional)
Abfüllhalle	Gebindereinigen, Abfüllen, Haltbarmachen (optional), Lagern
Infrastruktur	Kälte- und Kühltechnik; Kesselhaus und Warmwasseraufbereitung, Druckluftherzeugung

¹² UNI Kassel, 2012

¹³ UNI Kassel, 2011

¹⁴ WINenergy!, 2000

¹⁵ Ebenda

2.3 Energieverteilung in der Brauerei

Die Brauereiindustrie ist eine sehr energieintensive Branche. Im Jahr 2009 betrug der Energieverbrauch aller Brauereien in Deutschland ca. 3,8 TWh/a. Mit diesem jährlichen Endenergieverbrauch nimmt dieses Gewerbe den siebten Platz innerhalb der Ernährungsindustrie ein.¹⁶ Aufgrund der hohen Abhängigkeit von Energie und Ressourcenpreisen spielt die Reduktion der Energieverbräuche und nachhaltiges Wirtschaften eine wichtige Rolle bei der Wettbewerbsfähigkeit (siehe Kap. 2.2). Eine wichtige Maßeinheit für Benchmarks innerhalb der Branche ist der Energieverbrauch pro Hektoliter Verkaufsbier.

Das britische Marktforschungsinstitut Campden BRI hat im Jahr 2012 eine Befragung bezüglich der Endenergieverbräuche unter 225 Brauereien aus 49 Ländern, ab einer Jahresproduktion von 500.000 hl, durchgeführt. Dabei wurde neben der Erfassung der aktuellen Werte ein Vergleich zum Jahr 2008 angestellt. Aus den Ergebnissen kann man die positive Entwicklung der Branche ableiten. Der mittlere durchschnittliche Energieverbrauch (Strom, Wärme) verbesserte sich im Zeitraum 2008 bis 2012 um ca. 9 %. Der Durchschnittliche Wasserverbrauch hat sich sogar um 17 % verbessert.¹⁷

Energieverbrauch in kWh pro Hektoliter

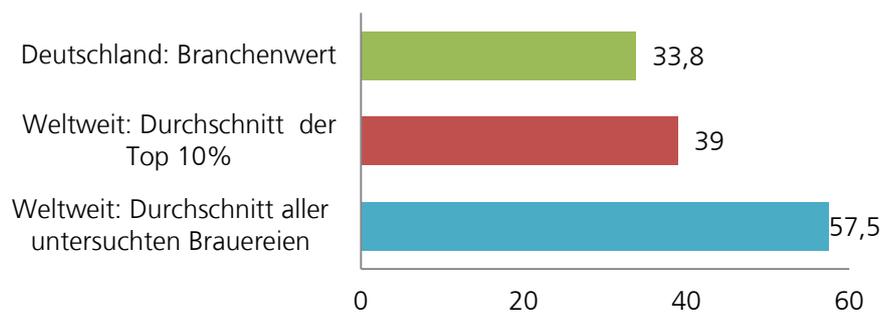


Abb. 06:
Energieverbrauch zu
Bierherstellung

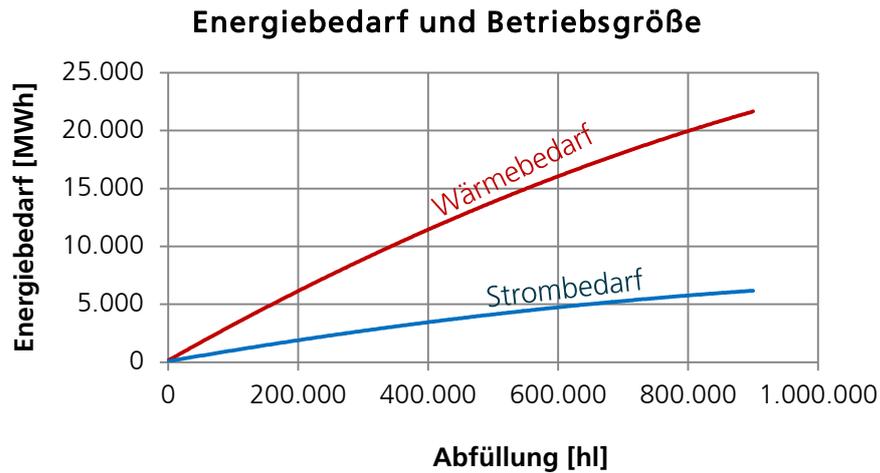
Beachtlich ist, dass viele deutsche Brauereien unter den Top 10 % der effizientesten Brauereien sind und das der Branchenwert der deutschen Brauereien (dieser Größe) für das Jahr 2013 den Top 10 Wert unterschreitet. Die in Abb. 06 dargestellten Energieverbräuche beziehen sich auf die Summe der thermischen und elektrischen Bedarfe pro Hektoliter Verkaufsbier.

Die benötigte absolute Menge an Energie, ob elektrisch oder thermisch, hängt hauptsächlich von der Brauereigröße, gemessen an der Jahresproduktion in Hektoliter, ab. Abb. 07 stellt die Verteilung an Energie in Bezug auf die Betriebsgröße dar. Klar zu erkennen ist, dass der Bedarf an Energie im Verhältnis zum Ausstoß nicht linear ansteigt, was darauf deutet, dass eine bessere Auslastung der Anlagen und Kontinuität im Betrieb hier einen Einfluss haben.

¹⁶ UNI Kassel, 2011

¹⁷ Warsteiner, 2013

Abb. 07:
Gegenüberstellung von Energiebedarf in Abhängigkeit von der Größe der Brauerei ¹⁸



Auf Grund des nicht linearen Verlaufs lässt sich auch auf einen Einfluss der Betriebsgröße auf den spezifischen Energieverbrauch schließen. Kleine Brauereien weisen typischerweise einen höheren spezifischen Energieverbrauch auf. Wie folgende Abbildung zeigt, wird in sehr großen Brauereien durchschnittlich halb so viel Energie pro Hektoliter benötigt.

Abb. 08:
Gegenüberstellung von spez. Energiebedarf in Abhängigkeit von der Größe der Brauerei ¹⁹

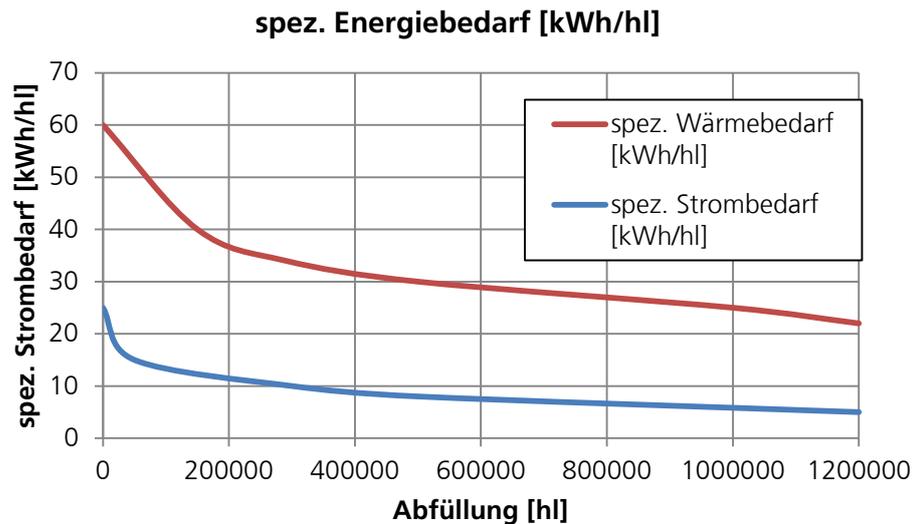


Abbildung 9 zeigt deutlich, dass ca. drei Viertel der Gesamtenergie in einer Brauerei auf Wärmeenergie, die durch Heizöl, Gas o.a. bereitgestellt wird, zurückzuführen ist. Lediglich ein Viertel des Strombedarfs fällt für den Verbrauch an elektrischer Energie an. Die bereitgestellte Wärme wird hauptsächlich für das Sudhaus und bei der Abfüllung genutzt. Der Hauptanteil der elektrischen Energie wird für die Kälte- und Druckluftbereitstellung sowie für den Betrieb der vielfältigen Antriebe und Pumpen benötigt.

¹⁸ WINenergy!, 2000

¹⁹ WINenergy!, 2000

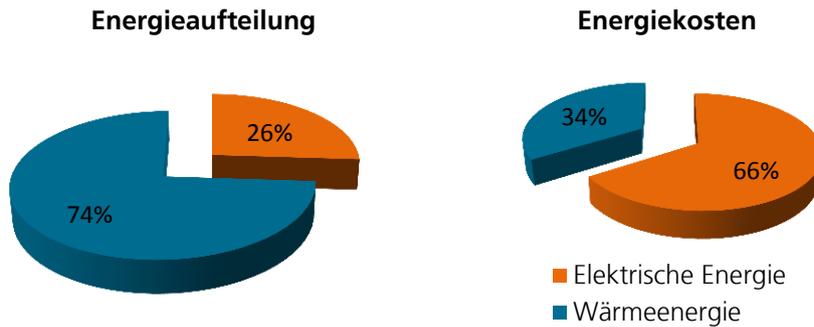


Abb. 09:
Energieart und -
Kostenaufteilung²⁰

In der folgenden Tabelle sind Energieart und -träger sowie deren Einsatz in den einzelnen Produktionsabschnitten eines Brauvorganges dargestellt. Daraus ist klar erkennbar, dass in Maßnahmen zur Nutzung von Abwärme und zur Optimierung der Antriebe hohe Potenziale zur Energieeinsparung vorhanden sind, da diese in fast jedem Prozessschritt anfallen.

	Gas, Öl, ...		Wasser	Strom			
	Wärme	Abwärme		Kälte	Antriebe	Druckluft	CO ₂
Maischen	x	x	x		x		
Läutern	x	x			x		
Kochen	x	x			x		
Ausschlagen		x			x		
Kühlung		x	x	x	x		
Gärung		x		x	x	x	x
Lagerung		x		x	x		x
Filtration		x	x	x	x		
Haltbarmachung	x	x					
Gebindereinigung	x	x	x		x		
Abfüllung	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 2:
Energieart , Energieträger und
deren Einsatz in den einzelnen
Produktionsabschnitten eines
Brauvorganges²¹

Bei der Betrachtung der Aufteilung der elektrischen Energie (siehe Abb. 10) fällt auf, dass der größte Anteil (ca. 40 %) für die Kälteerzeugung aufgewendet wird. Die Kälte wird hauptsächlich zu Abkühlung der Würze nach dem Kochen benötigt und um die Temperatur bei der Haupt- und Nachgärung aufrecht zu erhalten. Der allgemeine Energieanteil, welcher beispielsweise für die Beleuchtung, Belüftung aller Bereiche aufgewandt werden muss, beträgt ca. 23 % und ist neben der Kälte der größte Verbraucher an elektrischer Energie in einer Brauerei. Nächstgrößter zuordenbarer Stromverbraucher ist die Abfüllung. Hier kommen Anlagen zum Reinigen und Befüllen von Flaschen, Dosen und KEG zum Einsatz, welche Strom für die Antriebe, Druckluft- und CO₂-Erzeugung benötigen. Das Sudhaus hält mit 13 % immer noch einen hohen Anteil am

²⁰ Angelehnt an WINenergy!, 2000

²¹ Angelehnt an WINenergy!, 2000

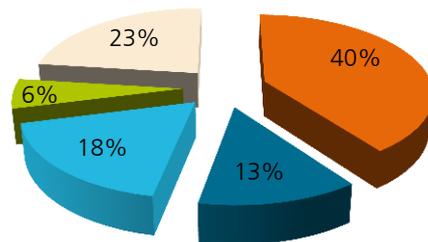
Gesamtenergieverbrauch. Grund dafür sind die, besonders während der Prozessschritte Maischen, Läutern, Kochen, Ausschlagen und Kühlen, zum Einsatz kommenden Antriebe und Pumpen.

Bei der Betrachtung der Aufteilung der Wärmeenergie ist das Sudhaus, mit seinen wärmeintensiven Prozessen, der größte Verbraucher. Die Flaschenabfüllung nimmt mit 25 % den zweiten Platz ein. Hier wird Wärme zu Flaschenreinigung und Haltbarmachung des Produktes verwendet. Alle weiteren Bereiche sind aufgrund ihrer geringen Größe vernachlässigbar.

Abb. 10:
Aufteilung der elektrischen- und Wärmeenergie in Bereiche

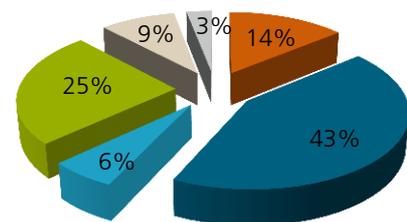
Aufteilung elektrische Energie

- Kälte ■ Sudhaus ■ Abfüllung
- Luft ■ Allgemein



Aufteilung Wärmeenergie

- Sonstige ■ Sudhaus
- Faßabfüllung ■ Flaschenabfüllung
- Gär und Lagerkeller ■ Filtration



Kleine Brauereien können von diesem prozentualen Verteilungsmuster, siehe obere Abbildung, stark abweichen. Einen großen Einfluss auf den relativen Energieverbrauch, vor allem von Wärmeenergie, haben die Nebeneinrichtungen, wie Büro- und Lagerflächen. Im ungünstigsten Fall kann deren Anteil fast die Hälfte des gesamten thermischen Verbrauchs betragen.²²

²² WINenergy!, 2000

2.4 Merkblatt für die besten verfügbaren Techniken

Das Merkblatt für die besten verfügbaren Techniken über die Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung – BVT beschreibt im Wesentlichen angewandte Techniken mit den zugehörigen Emissions- und Verbrauchswerten. Eine Bewertung, ob eine bestimmte Technik als beste verfügbare Technik zu betrachten ist, erfolgt an dieser Stelle nicht.²³ Um die „besten verfügbaren Techniken“ immer auf dem aktuellen Stand zu halten hat eine Revision des BVT-Merkblattes für die Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie 2014 ihre Arbeit aufgenommen.²⁴

Im Sinne der Einhaltung der Energieeffizienz ist es wichtig den Input und Output an Hilfs- und Betriebsstoffen sowohl auf der einen Seite als auch die Emissionen, welche während des Prozesses anfallen, siehe Abb. 11, auf der anderen Seite zu kennen. Neben Rohstoffen werden vor allem Energie und Wasser eingesetzt. Als Emissionen entstehen hauptsächlich Abwasser, Kohlenstoffdioxid und organische und anorganische Abfälle.²⁵

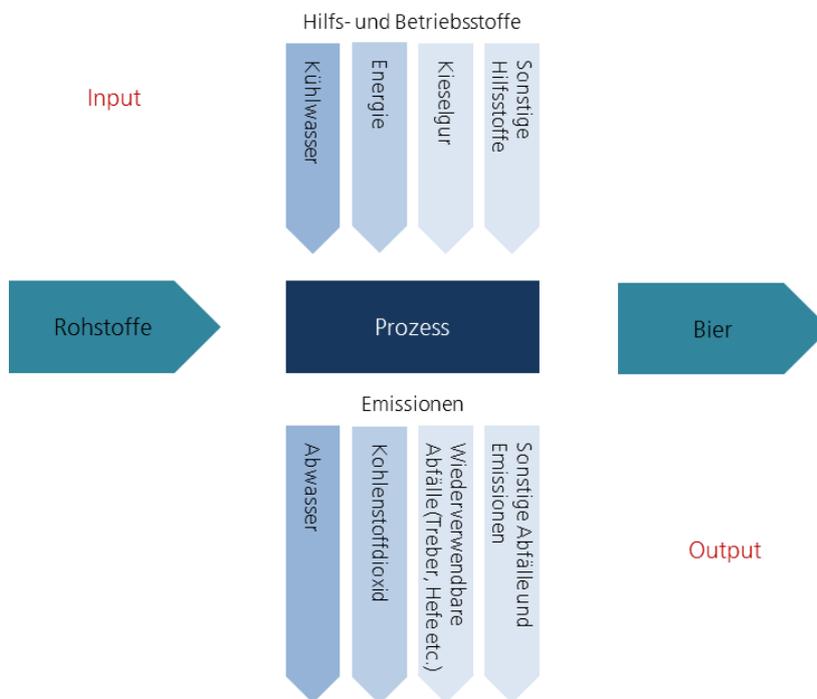


Abb. 11:
Input-Output in einer Brauerei

Die wichtigsten Umweltfragen, welche Anlagen der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie²⁶ betreffen, stehen im Zusammenhang mit dem Wasserverbrauch und der Wasserverschmutzung sowie mit dem Energieverbrauch und der Abfallvermeidung.

Mit Hilfe der BVT soll das Management und die Steuerung der internen Flüsse optimiert werden, um Umweltverschmutzungen sowie die Verschlechterung ihres Zustandes zu vermeiden.²⁷

²³ UBA, 2005

²⁴ IdF, 2016

²⁵ UBA, 2005

²⁶ UBA, 2005

²⁷ UBA, 2005

Ausgangssituation

Hilfs- und Betriebsstoffe

Tab. 3:
Einsatz von Hilfs- und Betriebsstoffen einer typischen deutschen Großbrauerei pro ein Hektoliter Bier

Frischwasser	3,7 bis 4,7 hl
Wärmeenergie	85 bis 120 MJ
Elektrizität	7,5 bis 11,5 kWh
Kieselgur	90 bis 160 g
Abwasser	2,2 bis 3,3 hl

Tab. 4:
Emissionen einer typischen deutschen Großbrauerei pro ein Hektoliter Bier

Emissionen

Kohlenstoffdioxid	230 kg/hl
Wiederverwendbare Abfälle	
Treber	16 bis 19 kg
Hefe	1,7 bis 2,9 kg
Kieselgur	0,4 bis 0,7 kg
Feste Abfälle (Glas, Plastik, Metall etc.)	0,517 bis 1,11 kg

Die allgemeine BVT für den Bereich der gesamten Nahrungsmittelproduktion beantwortet gemeinsame Fragen zu ähnlich gelagerten Umweltproblemen wie beispielsweise trockene Reinigung und Verringerung des Wasserverbrauchs, Verfahrensanweisungen zur Reduzierung von Emissionen sowie allgemeine Angaben, die u.a. das Problembewusstsein der Mitarbeiter stärken.

Diese zentralen Fragen werden im Abschnitt 5.1 bis 5.1.7 umfassend beantwortet. Da es sich darin vorrangig um Themen zum Umweltschutz handelt, wird in dieser Studie auf eine detaillierte Aufstellung dieser Punkte verzichtet.

Für die einzelnen Bereiche der Nahrungsmittelindustrie wurden zusätzliche BVT erlassen, welche speziell Anlagen, welche Getränke verarbeiten, adressieren.

Folgende Übersicht stellt die zu erfüllenden Punkte der „Zusätzlichen BVT für die Getränkeproduktion“ dar²⁸:

Tab. 5:
BVT-Maßnahmen für die Getränkeproduktion

Maßnahme	Umweltnutzen	BVT-Abschnitt
Wenn CO ₂ in der Anlage eingesetzt wird, darf nur solches genutzt werden, welches aus dem Fermentationsverfahren rückgewonnen wurde oder als Nebenprodukt aus einem anderen Verfahren entstand	CO ₂ -Emissionen auf Anlagenebene Geringerer Verbrauch fossiler Brennstoffe und Energie zur Herstellung	4.2.4.1
Rückgewinnung von Hefe nach der Fermentation	Geringere Abwasserverschmutzung Weniger Abfälle	4.7.9.3

²⁸ UBA, 2005

Maßnahme	Umweltnutzen	BVT-Abschnitt	Ausgangssituation
Bei Nutzung von Kieselgur zur Filtration muss das verbrauchte Filtermaterial zwecks Optimierung der Wiederverwendung und/oder Entsorgung gesammelt werden	Bei der Cross-Flow-Filtration kann der Zuström wieder- verwertet und Material rückgewonnen Energieverbrauch	4.7.9.4.3	
Einsatz mehrstufiger Flaschenreinigungssysteme	Rückgang von Lärmemissionen sowie geringerer Ressourcenverbrauch	4.7.9.5.2	
Optimierung des Wasserverbrauchs in der Spülzone der Flaschenreinigungsmaschine durch Kontrolle des Spülwasserdurchlaufs	Geringerer Wasser-, Chemikalienverbrauch sowie Abwassermenge	4.7.9.5.4	
Wiederverwendung des Überlaufs aus der Flaschenreinigung nach Sedimentation und Filtration	Geringerer Verbrauch an Natronlauge und Wasser Energieverbrauch	4.7.9.5.3	

Zusätzlich zu den aufgeführten Maßnahmen für die Getränkeindustrie umfasst die spezielle BVT für Brauereien die Erfüllung folgender Punkte:

Maßnahme	Umweltnutzen	BVT-Abschnitt	Tab. 6: BVT-Maßnahmen speziell für Brauereien
Optimierung der Wiederverwendung des Heißwassers aus der Würzekühlung sowie die Rückgewinnung der Wärme aus der Würzekochung	Energieverbrauch	4.7.9.6.4	
	Wasserverbrauch bessere Heißwasserbilanz Geruchsemissionen	4.7.9.6.5	
Wiederverwendung des überlaufenden Wassers aus der Flaschenpasteurisation	Verringerung von Wasserverbrauch und Abwasserkontamination	4.7.9.5.5	
Senkung des Wasserverbrauchs auf 0,3542-1 m ³ /hl produzierten Biers	Geringerer Wasser-, Chemikalienverbrauch sowie Abwassermenge	3.3.11.1	

3 Methodische Elemente der Studie

3.1 Analyse spezieller Studien und F&E Berichte

Um einen weitreichenden Überblick zu den vielfältigen Einsparmöglichkeiten in der Brauereiindustrie zu erhalten, wurden neben einer allgemeinen Literaturrecherche und Umfrage, folgende spezielle Branchenkonzepte bzw. branchenspezifische Berichte untersucht und ihre Empfehlungen und Maßnahmen für das Gesamtergebnis aufgearbeitet:

1. Branchenkonzept-Solare Prozesswärme für Brauereien (DE)²⁹:
In Rahmen des Forschungsvorhaben „SOPREN-Solare Prozesswärme und Energieeffizienz“ 2012 wurde von Universität Kassel untersucht, wie thermische Solaranlagen in die Brauereien integriert werden können. Hieraus ließen sich Informationen zu den Prozessverbräuchen, Temperaturgefällen und Wärmehückgewinnungsprozessen für die vorliegende Studie ableiten.
2. Energiekennzahlen und -sarpotenziale in Brauereien (AT)³⁰:
In einer Gemeinschaftsaktion von O.Ö. Energiesparverband, WIFI Ökoberatung und Wirtschaftskammer O.Ö. entstand im Jahr 2000 ein Branchenkonzept zu den Energieeinsparpotenzialen für die österreichische Brauereibranche. Diese lieferte wichtige Informationen zur Energieverteilung und dem Zusammenwirken zwischen spezifischem Energiebedarf und Brauereigröße.
3. Green Brewery – Null CO₂ Emission in der Brauindustrie (AT)³¹:
Befasste sich mit der Entwicklung und beispielhaften Umsetzung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien im Jahr 2009. Die an den Versuchsstandorten implementierten Maßnahmen wurden in den Maßnahmenkatalog der vorliegenden Studie aufgenommen.
4. Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry (CAN)³²:
Gemeinschaftsprojekt zwischen der Brewers Association of Canada (BAC) und der Natural Resources Canada (NRCAN) mit dem Zweck der Branchenaufklärung über Potenziale zur Energie und CO₂-Einsparung. Die Publikation ist in Form eines Kompendiums aufgebaut und enthält viele Hinweise und Maßnahmen zu Energieeinsparung.
5. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries (USA)³³:
Gefördert durch die U.S. Umweltschutzbehörde fertigte Ernest Orlando Lawrence Berkeley, National Laboratory der University of California, einen Leitfaden zur Umsetzung unterschiedlicher Energie- und Materialeffizienzmaßnahmen in Brauereien an.

²⁹ UNI Kassel, 2012

³⁰ WINenergy!, 2000

³¹ BLUE GLOBE REPORT, 2009

³² NATURAL RESOURCES CANADA, 2011

³³ ENERGY STAR, 2003

6. Energy Usage, GHG Reduction, Efficiency and Load Management Manual (USA)³⁴:
Die U.S. Brewers Association fertigte 2013 ein Handbuch zum Thema Energieverbrauch und Effizienz, THG-Reduktion, und Lastmanagement. Es enthält eine Sammlung von Anweisungen und Vorschlägen bewährter Methoden zu Effizienzverbesserungen in Brauereien.
7. Energieeffizienz-Berichte zu umgesetzten Maßnahmen in Brauereien der Deutschen Energie-Agentur (dena) sowie Sächsischen Energieagentur (saena)

³⁴ BREWERS ASSOCIATION, 2013

3.2 Mathematisches Modell zur Potenzialanalyse

Im Zuge der Analyse der untersuchten Studien sowie der verfügbaren Literatur wurde die Problematik unterschiedlicher Maßeinheiten für die Einsparungen ersichtlich. Die verschiedenen Einheiten erschwerten den Vergleich und somit auch die Potenzialschätzung. Für die vorliegende Studie war es essentiell, eine einheitliche Größe zur Beurteilung des Energieverbrauchs bzw. der -einsparung auszuwählen. Tab. 7 zeigt die verschiedenen Bewertungsgrößen auf.

Tab. 7:
Auswahl der
Bewertungsgröße

Bewertungsgröße	Beschreibung
% GE	Die prozentuale Angabe über den eingesparten Anteil am Gesamtenergieverbrauch scheint auf den ersten Blick sinnvoll. Damit ist eine Lokalisierung und Bewertung der Maßnahmen über mehrere Gewerke einer Brauerei möglich. Diese Einheit ist vorzuziehen, wenn eine Untersuchung nur anhand einer speziellen Brauerei durchgeführt wird.
% PE	Ähnlich wie die vorhergehende Einheit ist die prozentuale Angabe des eingesparten, prozessbezogenen Verbrauchs am besten geeignet, um Potenziale innerhalb eines Prozesses und Unternehmens aufzudecken.
kWh/a	Die absolute Angabe eines Verbrauchs bzw. einer Einsparung pro Jahr ist für eine interne Einschätzung im Unternehmen vorteilhaft. Mit dieser Einheit kann auch eine Kalkulation aus betriebswirtschaftlicher Sicht direkt erfolgen. Diese Größe ist für die Untersuchung eines speziellen Unternehmens geeignet.
kWh/hl	Der Verbrauch pro Hektoliter Verkaufsbier ist eine Einheit, die in der Industrie als Kennzahl für den spezifischen Verbrauch weit verbreitet ist (z.B. in Umwelterklärungen der Unternehmen). Diese Einheit liefert eine sehr gute Vergleichbarkeit und kann als „normierte Bezugsgröße“ angesehen werden. Dadurch ist sie für diese Analyse sehr gut geeignet.
€/a	Eine weitere mögliche Einheit ist die Darstellung der Kostenersparnis in „Euro“. Sie ist einfach zu interpretieren, aber dennoch für die Potenzialangabe ungeeignet, da der Einfluss der betriebsspezifischen Faktoren zu hoch ist, um eine Vergleichbarkeit über Unternehmensgrenzen hinweg sowie Ableitungen von Gesetzmäßigkeiten zu ermöglichen.

Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse lässt sich mit der Bewertungsgröße „Verbrauch in kWh pro Hektoliter Bier [kWh/hl]“ am besten erzielen. Auch bei den meisten statistischen Angaben zur Brauereiindustrie, die sich auf die Produktion beziehen, wird die Größe „Hektoliter Bier“ verwendet. Hier ist die Umrechnung aus fast allen anderen Einheiten möglich. Dementsprechend wurde zur Ausweisung der Potenziale die Bewertungsgröße *kWh/hl* ausgewählt.

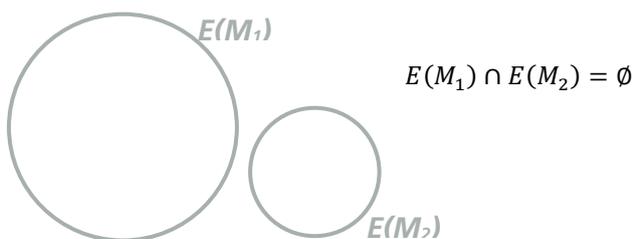
Beim Vergleich der lokalisierten Einspareffekte sind die Rahmenbedingungen nicht außer Acht zu lassen. Eine direkte Übernahme der Maßnahmen in die Produktion ist nur bedingt möglich, da die Produktionsstrukturen und Rahmenbedingungen zwischen den Unternehmen verschieden sind und diese einen Einfluss auf die Höhe der Einspareffekte haben. Die aufgezeigten Potenziale stellen eine allgemeine Tendenz dar, was bei stabilen Produktions- und Umweltbedingungen erreicht werden kann.

Um eine Abschätzung der Energieeffizienzpotenziale in der Planung sinnvoll und nachvollziehbar treffen zu können, wird im Folgenden die Vorgehensweise zur Ermittlung dieser erläutert, wobei die Beschreibung durch ein -mittels mathematischer Notation erzeugtes Modell- repräsentiert wird.

Auf der Grundlage der Analyse spezieller Studien sowie diverser F&E-Berichte konnte im ersten Schritt eine Liste mit Maßnahmen erstellt werden, welche eine Steigerung der Energieeffizienz in der Brauereiindustrie zur Folge haben. Die zugehörigen Einsparpotenziale sind von verschiedenen Einflüssen abhängig, welche nicht ohne weiteres mathematisch beschrieben werden können. Daher ist lediglich eine Abschätzung der Potenziale möglich und keine konkrete Wertzuweisung. Für die Liste von Maßnahmen gelten allerdings zwei Restriktionen. Einerseits können nicht alle ermittelten Maßnahmen bereits in der Planung berücksichtigt werden, d.h. eine Kategorisierung sowie Selektion wird erforderlich. Andererseits ist festzuhalten, dass das durch die eruierten Maßnahmen maximal erreichbare Einsparpotenzial nicht der Summe aller Einzelpotenziale entspricht. Um letzteres zu verdeutlichen, sollen die folgenden Erläuterungen dienen:

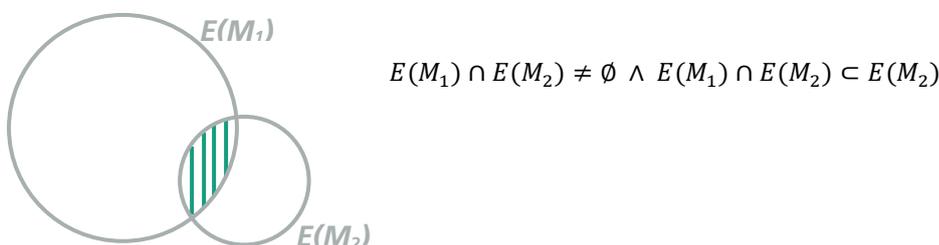
Sei M_1, \dots, M_n mit $n \in \mathbb{N}$ die Gesamtheit aller gesammelten Maßnahmen und $E(M_i)$ mit $i \in \mathbb{N}$ das Einsparpotenzial der Maßnahme M_i . Zur Veranschaulichung werden die möglichen Einsparungen als Mengen dargestellt.

Fall 1:



Die Einspareffekte beider Maßnahmen zielen nicht auf dieselbe Effizienzsteigerung ab. Da es keine Überschneidung der Mengen gibt, liegt auch keine teilweise oder vollständige Substitution bzw. Beeinflussung vor. Somit können beide Maßnahmen sowie die zugehörigen Effekte für die Ermittlung der Einsparpotenziale vorläufig (d.h. sofern eine mögliche Berücksichtigung in der Planung zutrifft) herangezogen werden.

Fall 2:



Die Einspareffekte beider Maßnahmen weisen eine Überschneidung auf und die Schnittmenge ist eine echte Teilmenge von $E(M_2)$, d.h. die Schnittmenge ist eine Teilmenge von $E(M_2)$, aber nicht identisch mit $E(M_2)$. Wie bereits oben erwähnt, existieren für die gesammelten Maßnahmen nur Abschätzungen hinsichtlich möglicher Einsparpotenziale. Somit kann nicht bestimmt werden, wie groß der Anteil der Schnittmenge am Gesamteffekt beider Maßnahmen ist. Eine Summation beider Potenziale würde demnach zu einer Überschätzung des Gesamtpotenzials führen.

Fall 3:



$$E(M_1) \cap E(M_2) \neq \emptyset \wedge E(M_1) \cap E(M_2) = E(M_2)$$

Die Einspareffekte beider Maßnahmen weisen eine Überschneidung auf und die Schnittmenge entspricht $E(M_2)$, d.h. die Schnittmenge ist komplett in $E(M_1)$ enthalten. Wie groß der Anteil der Schnittmenge am Gesamteffekt beider Maßnahmen ist, ist für diesen Fall irrelevant. Dennoch würde auch hier eine Summation beider Potenziale zu einer Überschätzung des Gesamtpotenzials führen.

Für die Berechnung der maximal erreichbaren Einsparpotenziale wurden daher folgende Festlegungen getroffen.

- Fall 1: Es liegt keine Überschneidung vor. Die Effekte beider Maßnahmen finden Beachtung.
- Fall 2: Es liegt eine Überschneidung vor. Lediglich die Maßnahme, welche den Größeren Einspareffekt aufweist, wird berücksichtigt.
- Fall 3: Es liegt eine Überschneidung vor. Lediglich die Maßnahme, welche den Größeren Einspareffekt aufweist, wird berücksichtigt.

Diese Annahmen stellen sicher, dass keine Überbewertung der Maßnahmen erfolgt. Obgleich ist es insbesondere im Fall 2 möglich, dass Einspareffekte nicht in die Berechnung einbezogen werden. Um eine nachvollziehbare Ermittlung der Energieeffizienzpotenziale gewährleisten zu können und mögliche Unsicherheiten in den Resultaten zu reduzieren, ist diese Prämisse zwingend erforderlich.

Bevor eine Einteilung der Maßnahmen stattfinden kann, werden die eruierten Maßnahmen sowie die zugehörigen Effizienzpotenziale wie zuvor beschrieben, hinsichtlich offensichtlicher Überschneidungen geprüft. Maßnahmen, welche dem Fall 2 und 3 zuzuordnen sind und einen geringeren Einspareffekt aufweisen, werden für weitere Betrachtungen nicht berücksichtigt und gehen somit nicht in das maximal erreichbare Einsparpotenzial ein.

Ausgehend von der nun bereinigten Maßnahmenliste kann die Klassifizierung erfolgen. Dabei wird in die folgenden drei Kategorien unterschieden.

$P^{(n)}$ für $i = 1 \dots n; n \in \mathbb{N}$ bezeichnet die Gesamtheit aller Effizienzmaßnahmen, welche eine technische Planung und Genehmigung sowie ggf. eine Anlagenstilllegung erfordern und hohe Investitionskosten aufweisen.

$Q^{(m)}$ für $j = 1 \dots m; m \in \mathbb{N}$ bezeichnet die Gesamtheit aller Effizienzmaßnahmen, welche keine Genehmigung sowie Kurze bzw. keine Anlagenstilllegung erfordern und geringe Investitionskosten aufweisen.

$R^{(t)}$ für $k = 1 \dots t; t \in \mathbb{N}$ bezeichnet die Gesamtheit aller Effizienzmaßnahmen, welche im laufenden Betrieb umgesetzt werden können und keine Investitionskosten erfordern.

In der folgenden Tabelle sind die Unterscheidungsmerkmale aller drei Maßnahmenklassen zusammenfassend dargestellt.

Klasse	Unterscheidungsmerkmale
P	<ul style="list-style-type: none"> - Erfordert technische Planung und Genehmigung - Stilllegung der Anlage bei Umbau erforderlich - Hohe Investitionskosten
Q	<ul style="list-style-type: none"> - Erfordert keine Genehmigung - Kurze bzw. keine Stilllegung der Anlage notwendig - Geringe Investitionskosten
R	<ul style="list-style-type: none"> - Erfordert keine Genehmigung - Umsetzung im laufenden Betrieb - Keine Investitionskosten

Tab. 8:
Maßnahmenklassen

Bezugnehmend auf den Aufwand $A(M)$, welcher mit der Umsetzung der Maßnahmen einhergeht, kann die folgende Verallgemeinerung getroffen werden:

$$A(R^{(k)}) < A(Q^{(j)}) < A(P^{(i)}); \forall i, j, k \in \mathbb{N}$$

Diese Abfolge kann allerdings nicht auf die Einsparpotenziale der Maßnahmen übertragen werden, da kein direkter Zusammenhang zwischen Aufwand und Effekt vorliegt.

Die Gesamtheit aller eruierten Maßnahmen darf nicht mit dem tatsächlichen Potenzial von Brauereien gleichgesetzt werden, da bereits diverse Maßnahmen umgesetzt wurden bzw. sich in der Umsetzung befinden und somit keine zusätzlichen Effekte daraus generiert werden.

Um das Einsparpotenzial planungsrelevanter Maßnahmen für die Brauereien dennoch abschätzen zu können, ist es erforderlich eine Modell-Brauerei zu definieren, die widerspiegelt, auf welchem Stand sich die Brauereien hinsichtlich der Energieeffizienz durchschnittlich befinden. Zu diesem Zweck wird eine Befragung mit ausgewählten Brauereien durchgeführt, in der ermittelt wird, welchen Umsetzungsgrad die Maßnahmen in der jeweiligen Brauerei aufweisen.

Die vier Umsetzungsgrade (UG) definieren sich dabei wie folgt:

- UG1:** Die Maßnahme wurde bis dato nicht betrachtet bzw. war bisher unbekannt.
- UG2:** Die Maßnahme wurde als möglicher Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz identifiziert. Derzeit ist eine Umsetzung allerdings nicht geplant.
- UG3:** Die Umsetzung der Maßnahme wurde entschieden, d.h. eine Realisierung ist mittelfristig geplant.
- UG4:** Die Maßnahme befindet sich momentan in der Umsetzung bzw. wurde bereits umgesetzt.

Um einen hohen Rücklauf der Umfrage erreichen zu können, ist es wichtig, dass der Fragebogen nur wenig Zeit in Anspruch nimmt und die Darstellung kompakt ist. Daher wurde für die Befragung eine Matrix festgelegt, welche mehrere Fragen mit einem identischen Satz von Möglichkeiten beantwortet. In einer solchen Matrix können die Antworten sowohl eine skalare Wertung wie auch zuordnende absolute Eigenschaften umfassen. Die einzelnen Fragen werden untereinander aufgeführt und bilden mit den Antwortmöglichkeiten, die in der Kopfzeile stehen, eine Matrix.

Für den hier betrachteten Kontext enthält die erste Spalte der Matrix alle Maßnahmen (inkl. Kurzbeschreibung) der bereinigten Liste. In der ersten Zeile werden von links nach rechts die Umsetzungsgrade aufgelistet. Die Teilnehmer haben dann die Möglichkeit in jeder Zeile ein Kreuz zu setzen und die Maßnahme hinsichtlich des Umsetzungsgrades in ihrer Brauerei zu beurteilen.

In der folgenden Tabelle sind $n(= 3)$ beispielhafte Antwortmatrizen dargestellt:

Tab. 9:
Beispielhafte Antwortmatrizen

Brauerei 1 (B₁)				
Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
M1	X			
M2		X		
M3		X		
M4			X	
Brauerei 2 (B₂)				
Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
M1			X	
M2			X	
M3		X		
M4				X
Brauerei 3 (B₃)				
Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
M1	X			
M2	X			
M3		X		
M4				X

Werden jetzt jedem Umsetzungsgrad entsprechend seiner Ordnungszahl Punkte zugewiesen, kann für jede Maßnahme der durchschnittliche Umsetzungsgrad ermittelt werden. Das Ergebnis für eine Maßnahme $\emptyset UG(M_i)$ auf Basis der $n(= 3)$ Antwortmatrizen der Brauereien B_1, \dots, B_n wird dementsprechend wie folgt berechnet:

$$\emptyset UG(M_i) = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n UG(M_{ij})$$

Dabei ist unter $UG(M_{ij})$ dem Umsetzungsgrad der Maßnahme i in der Brauerei j zu verstehen.

Auf der Grundlage dieser Berechnungsvorschrift resultieren folgenden Ergebnisse für die Beispielantworten:

Maßnahme	$\emptyset UG(M_i)$	$\triangle UG$
M1	1,66	UG2
M2	2	UG2
M3	2	UG2
M4	3,66	UG4

Tab. 10:
Beispielantworten nach der Berechnungsvorschrift

Beispielsweise würde dies für Maßnahme 1 bedeuten, dass eine durchschnittliche Brauerei die Maßnahme bereits geplant, aber noch nicht umgesetzt hat. Sie bietet somit noch Einsparpotenzial. Dahingegen können aus der Maßnahme 4 keine Effekte durch eine Betrachtung in der Planung resultieren, da diese bereits umgesetzt wurde.

Ziel der Befragung ist es, unter anderem eine Modell-Brauerei zu definieren, d.h. es ist zu bestimmen, welche Maßnahmen in einer durchschnittlichen Brauerei welchen Umsetzungsgrad aufweisen und durch welche Maßnahmen noch Einspareffekte erzielt werden können. Wird allerdings wie im Beispiel beschrieben außer Acht gelassen, dass gewisse Brauereien bis dato weitaus mehr Potenziale gehoben haben als andere, dann kommt es zu einer Verzerrung der Ergebnisse und somit zu einer falschen Charakterisierung der Modell-Brauerei.

Daher ist es notwendig eine Gewichtung in die Berechnung einzubeziehen. Für diesen Zweck wird der spezifische Strombedarf *spezELT* in kWh/hl sowie der spezifische Wärmebedarf *spezW* in kWh/hl herangezogen. In den jährlichen Umwelterklärungen werden diese Angaben durch jede Brauerei ausgewiesen. Um einen Bezug herzustellen werden zudem die übliche Branchenwerte $\emptyset ELT$ von 9.8 kWh/hl für den spezifischen Strombedarf sowie $\emptyset W$ von 24 kWh/hl für den spezifischen Wärmebedarf verwendet.

Für die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren $g(B_i)$ für $i = 1, \dots, n; n \in \mathbb{N}$ wird festgelegt, dass der Gewichtungsfaktor 1 beträgt, wenn die betreffende Brauerei den gleichen spezifischen Strom- und Wärmebedarf aufweist wie der Branchenübliche Wert. Brauereien, die bisher wenig Effizienzpotenziale gehoben haben, sollen zudem einen höheren Gewichtungsfaktor als 1 erhalten und Brauereien, die bezüglich der Energieeffizienz überdurchschnittlich sind einen kleineren Gewichtungsfaktor als 1.

Der Gewichtungsfaktor $g(B_i)$ der Brauerei i berechnet sich dann nach folgender Vorschrift:

$$g(B_i) = 1 + \frac{\text{spezELT}(B_i) - \emptyset ELT}{\emptyset ELT} + \frac{\text{spezW}(B_i) - \emptyset W}{\emptyset W}$$

In der folgenden Tabelle wurden für die Beispielbrauereien exemplarische Werte für den spezifischen Energiebedarf angenommen und die zugehörigen Gewichtungsfaktoren berechnet.

Tab. 11:
exemplarische Werte für
Beispielbrauereien

Brauerei	\varnothing ELT [kWh/hl]	\varnothing W [kWh/hl]	spezELT (B _i) [kWh/hl]	spezW(B _i) [kWh/hl]	g(B _i)
B ₁	9,8	24	11,9	27	1,34
B ₂	9,8	24	10	24,1	1,02
B ₃	9,8	24	7,9	22	0,72

Werden diese Gewichtungen in die Auswertung der Befragung einbezogen, ergibt sich ein gewichteter durchschnittlicher Umsetzungsgrad $\varnothing_gUG(M_i)$, der sich wie folgt für die Maßnahme i berechnen lässt:

$$\varnothing_gUG(M_i) = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n (UG(M_{ij}) * g(B_j))$$

Für die Beispielantworten ergeben sich demnach folgende Resultate für $\varnothingUG(M_i)$ und $\varnothing_gUG(M_i)$:

Tab. 12:
Resultate für die Zuordnung
von Maßnahmen zu den
Umsetzungsgraden

Maßnahme	$\varnothingUG(M_i)$	$\triangle\varnothingUG$	$\varnothing_gUG(M_i)$	$\triangle\varnothing_gUG$
M1	1,66	UG2	2,02	UG2
M2	2	UG2	2,5	UG3
M3	2	UG2	2,38	UG2
M4	3,66	UG4	3,97	UG4

Da im Zuge dieser Studie nur ausgewählte Brauereien befragt werden und somit auch kein ausreichend großer Stichprobenumfang erreicht wird, um eine signifikante Aussage bezüglich einer Modell-Brauerei treffen zu können, wurde der Einbezug von Gewichtungsfaktoren als sinnvoll erachtet.

Nachdem die Umfrage erstellt und durch die Brauereien ausgefüllt wurde, erfolgt im vorletzten Schritt die Auswertung auf Basis der zuvor beschriebenen Vorgehensweise unter Berücksichtigung spezifischer Energiebedarfe und Gewichtungsfaktoren.

Anhand der Ergebnisse kann ermittelt werden, mit welchen Maßnahmen ein wirkliches Effizienzpotenzial gehoben werden kann $\varnothing_gUG < UG4$ und durch welche nicht $\varnothing_gUG = UG4$.

$$E(P^{(i)}) = \text{Einsparpotenzial der Maßnahme } P^{(i)}$$

$$E(Q^{(j)}) = \text{Einsparpotenzial der Maßnahme } Q^{(j)}$$

$$E(R^{(k)}) = \text{Einsparpotenzial der Maßnahme } R^{(k)}$$

$$\sum_{i=1}^n E(P^{(i)}) + \sum_{j=1}^m E(Q^{(j)})$$

= *kumulierte Einsparpotenziale der Maßnahmen aus Betrieb und Planung*

$$E(M^{(ges)}) = \sum_{i=1}^n E(P^{(i)}) + \sum_{j=1}^m E(Q^{(j)}) + \sum_{k=1}^o E(R^{(k)})$$

= *kumulierte Einsparpotenziale der Maßnahmen aus Betrieb, energieoptimiertem Betrieb und Planung*

Für den Fokus der Studie sind allerdings nur Maßnahmen relevant, welche der Planung zugeordnet (1) bzw. bereits in der Planung berücksichtigt werden können (1)+(2). Demnach wird das Energieeffizienzpotenzial (in %) $E(P_{\%})$ bzw. $E(PQ_{\%})$ wie folgt aus dem Einsparpotenzial und dem maximal erreichbaren Potenzial aller Maßnahmen ermittelt:

$$E(P_{\%}) = \frac{E(P^{(n)})}{E(M^{(ges)})} * 100\% \quad \text{mit } n \in \mathbb{N}$$

$$E(PQ_{\%}) = \frac{E(P^{(n)}) + E(Q^{(m)})}{E(M^{(ges)})} * 100\% \quad \text{mit } n, m \in \mathbb{N}$$

Für die Berechnung gilt, dass die Betrachtung von Maßnahmen, die sich in ihren Effekten gegenseitig substituieren bzw. beeinflussen, keine Beachtung finden. Offensichtliche Überschneidungen werden herausgerechnet.

3.3 Industrieumfrage

Um die theoretischen Erkenntnisse mit Erfahrungen aus der Praxis zu untermauern und die für die Potenzialberechnung erforderliche Modell-Brauerei zu definieren, wurde eine Umfrage mit sächsischen Brauereien und mit Unterstützung der Sächsischen Energieagentur (SAENA GmbH) und IHK Chemnitz konzeptioniert, und durch den Sächsischen Brauerbund durchgeführt. Die Ergebnisse spiegeln den aktuellen Status der Maßnahmen wieder, welche in der Praxis bereits angegangen wurden und geben einen Überblick über aktuell bestehende Energieeffizienzpotenziale.

Die Umfrage wurde so ausgelegt, dass die Beantwortung der Fragen eine Dauer von 15 Minuten nicht übersteigt. Sie bestand aus zwei Teilen:

- Teil I: Allgemeine Kenndatenermittlung:
Nutzung der Daten zur Kategorisierung der Unternehmen, nach jährlicher Produktionskapazität und Gewichtung der Einschätzung bzgl. Umsetzungsreife der Energieeffizienzmaßnahmen
- Teil II: Spezifische Potenzialermittlung:
Abfrage der Maßnahmen in den Unternehmen mittels einer Vorlage bzgl. der Umsetzungsreife (siehe Anlage A: Fragebogen). Dabei entschieden die Befragten ob die abgefragten Maßnahmen: unbekannt, bekannt, geplant oder in Umsetzung bzw. umgesetzt sind. Die Ergebnisse gehen direkt in die Berechnung der Potenziale, nach dem, im vorherigen Abschnitt vorgestellten mathematischen Modell, ein.

Bei der Durchführung wurde großer Wert auf eine möglichst einfache Handhabung und Anonymität gelegt. Zur Beantwortung des Fragebogens konnte zwischen zwei Möglichkeiten gewählt werden:

- Variante I: Schriftliche Beantwortung:
Teilnahme durch Ausdruck und handschriftliches Ausfüllen der anliegenden Druckversion und Weiterleitung per Post, Fax oder Email an das beauftragte Fraunhofer Institut IWU oder den sächsischen Brauerbund
- Variante II: Online:
Zur Teilnahme erhielten die Unternehmen über den sächsischen Brauerbund einen Link zur Durchführung der Befragung. Eine Beantwortung der Fragen wurde dadurch zügig möglich. Die Datenübertragung erfolgte verschlüsselt und anonymisiert an das Fraunhofer IWU.

Um zusätzlich mögliche Entwicklungen in der Branche genauer bewerten zu können, wurden Interviews mit einigen Brauereien durchgeführt. Besonderer Wert lag auf einem offenen und konstruktiven Gespräch mit den Entscheidern der befragten Unternehmen. Aspekte wie Erfahrungen mit Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Kenntnis über die im Unternehmen vorhandenen Einsparmöglichkeiten wurden im Besonderen angesprochen. Dadurch war es möglich, einen guten Einblick in die themenbezogene Sichtweise der jeweiligen Brauerei zu erhalten.

4 Ergebnisse

4.1 Musterbrauerei

Die Auswertung der Ergebnisse beinhaltet die Analyse der eruierten Energieeffizienzmaßnahmen bezüglich ihrer Zugehörigkeit zur Planungsphase sowie der praktischen Umsetzungsreife. Die Resultate fließen in die Schätzung des in der Planung adressierbaren Energieeffizienzpotenzials industrieller Anlagen *im Vergleich zu dem*, der Betriebsphase ein.

Um das Einsparpotenzial planungsrelevanter Maßnahmen für die Brauereien abschätzen zu können, ist es erforderlich eine Modell-Brauerei zu definieren, die widerspiegelt auf welchem Stand sich die Brauereien hinsichtlich der Energieeffizienz durchschnittlich befinden. Zu diesem Zweck wurde eine Umfrage, siehe Anlage: „Fragebogen“, mit dem *Sächsische Brauerbund* e.V. gemeinsam ausgewählten Brauereien durchgeführt, in der eruiert wird, welchen Umsetzungsgrad die Maßnahmen in der jeweiligen Brauerei aufweisen. Zusätzlich zu dem spezifischen Teil wurden allgemeine Kenndaten ermittelt, welche es erlauben, Unternehmen nach jährlicher Produktionskapazität zu kategorisieren und anhand deren Energieverbrauchs eine Gewichtung für die Einschätzung bzgl. der Umsetzungsreife der Energieeffizienzmaßnahmen zu vergeben.

Bei den Brauereien, die die Umfrage ausgefüllt haben, handelt sich allesamt um Brauereien mit einer Produktionskapazität von über 500.000 hl. Demzufolge ist die im Weiteren dargestellte Musterbrauerei eine Großbrauerei, deren Ausstoß an Verkaufsbier prozentual wie folgt abgefüllt wird:

- Abfüllung in Flaschen [83,6%]
- Abfüllung in Dosen [7,5%]
- Abfüllung in KEG [8,9%]

Die spezifischen Medienverbräuche je Hektoliter Verkaufsbier ergeben sich aus dem Mittelwert der befragten Brauereien:

	Branchenwert	Musterbrauerei
spezifischer Wärmebedarf [kWh/hl]	24	25,44
spezifischer Strombedarf [kWh/hl]	9,8	9,52
spezifischer Wasserbedarf [hl/hl]	4,09	3,83

Tab. 13:
Spezifische Medienverbräuche
Musterbrauerei in Vergleich zu
Branchenwert

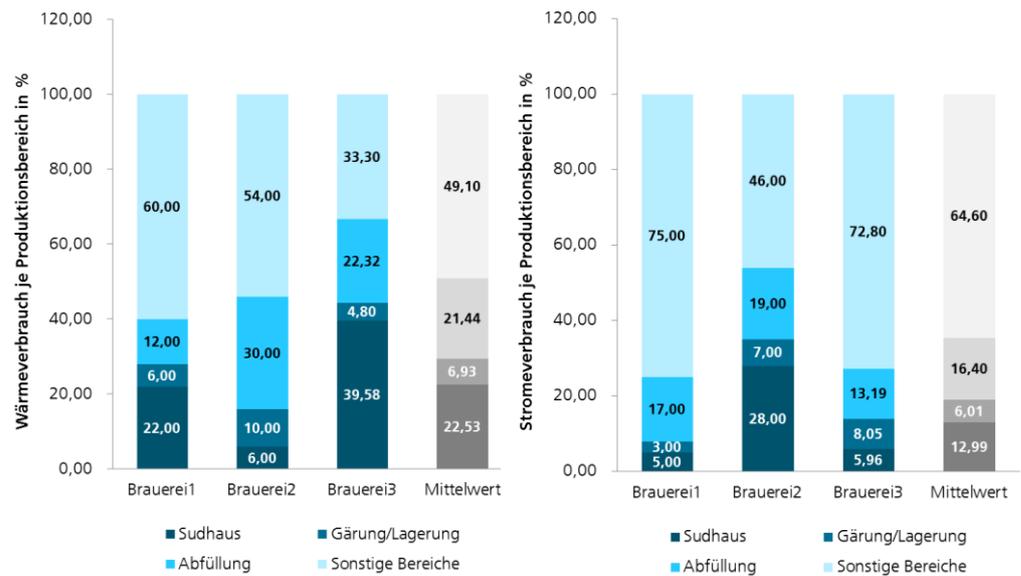
Bezogen auf die verschiedenen Produktionsbereiche verteilt sich der Strom- und Wärmeverbrauch in dem Musterunternehmen prozentual, wie folgt:

	Sudhaus	Gärung/ Lagerung	Abfüllung	Sonstige Bereiche
Spez. Wärmeverbrauch	23%	7%	21%	49%
Spez. Stromverbrauch	13%	13%	16%	65%

Tab. 14:
Verteilung der spezifischen
Medienverbräuche nach
Bereichen

Diese festgelegte Aufteilung der Verbräuche basiert auf den durchschnittlichen Umfragewerten. Die tatsächlichen bereichsbezogenen Verbräuche weisen zum Teil deutliche Unterschiede auf, wie der nachfolgende beispielhafte Auszug zeigt:

Abb. 12:
Stoffflüsse im Brauereiprozess



Die Energiedatenerfassung und -überwachung erfolgt kontinuierlich mittels spezieller Software (71 % der Befragten). In der Musterbrauerei werden Energiemanagementnorm ISO 50001 (100 % der Befragten) und die Umweltmanagementnorm ISO 14001 (71 % der Befragten) angewendet. Somit wird der PDCA-Kreislauf zur Qualitätsverbesserung in diesen Unternehmen größtenteils gelebt. Ein Maßnahmenbuch mit Einschätzungen zu Energieeinsparungen und Investitionen wird fortlaufend gepflegt.

Aus 89 Maßnahmen zur Energieeffizienzverbesserung, die innerhalb der Studie herausgefunden wurden, sind 43 bereits umgesetzt bzw. befinden sich in der Umsetzung (UG4). Die Auflistung dieser Maßnahmen kann in der Anlage B: „Auswertung der Umfrage zu Umsetzungsgraden der eruierten Maßnahmen“ nachgeschlagen werden. Die Maßnahmen teilen sich in folgende Klassen (siehe Kap.3.2) auf:

- P:
 - Erfordert technische Planung und Genehmigung
 - Stilllegung der Anlage bei Umbau erforderlich
 - Hohe Investitionskosten
- Q:
 - Erfordert keine Genehmigung
 - Kurze bzw. keine Stilllegung der Anlage notwendig
 - Geringe Investitionskosten
- R:
 - Erfordert keine Genehmigung
 - Umsetzung im laufenden Betrieb
 - Keine Investitionskosten

Eine Quantitative Verteilung der umgesetzten Maßnahmen hinsichtlich Maßnahmenklasse, adressierten Energieart sowie Anwendungsbereich kann folgender Abbildung entnommen werden.

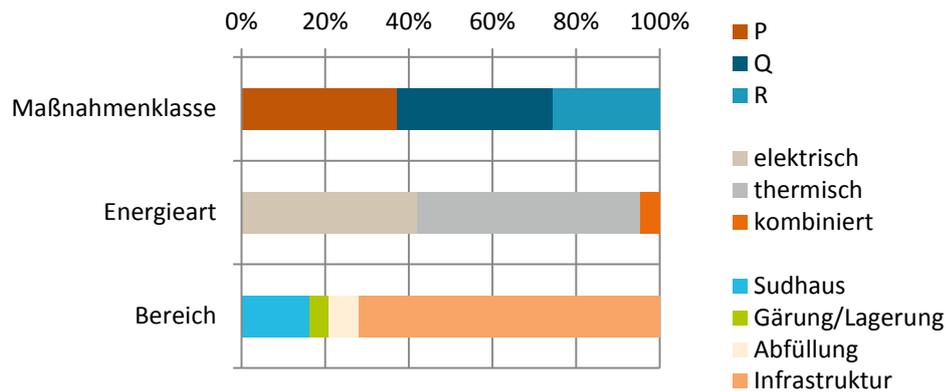


Abb. 13:
Quantitative Verteilung der umgesetzten Maßnahmen

Im Weiteren erfolgt die allgemeine Analyse zu den, in den einzelnen Bereichen umgesetzten Maßnahmen.

Im Sudhaus wurden vornehmlich Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung durchgeführt, da die anfallende Abwärme aus den Kochprozessen für die Vorwärmung des Nutzwassers verwendet werden kann. Zur Speicherung der zurückgewonnenen Wärmeenergie werden isolierte Heißwassertanks eingesetzt. Zudem wird in der Musterbrauerei das Niederdruckkochverfahren verwendet, welches einen Einsparungswert von bis zu 10 kWh Wärme pro Hektoliter aufweist.

Bei der Gärung und Lagerung ist die Isolierung der Lagertanks bereits umgesetzt und für die Kurzzeiterhitzung werden Plattenwärmer verwendet, welche auch einen hohen Einsparungswert von bis zu 3,6 kWh/hl im Vergleich zu konventionellen Technologien aufweisen.

In der Abfüllung wurde das gesamte Lüftungssystem in der Verladehalle optimiert und eine Wärmerückgewinnung aus dem Waschprozess installiert.

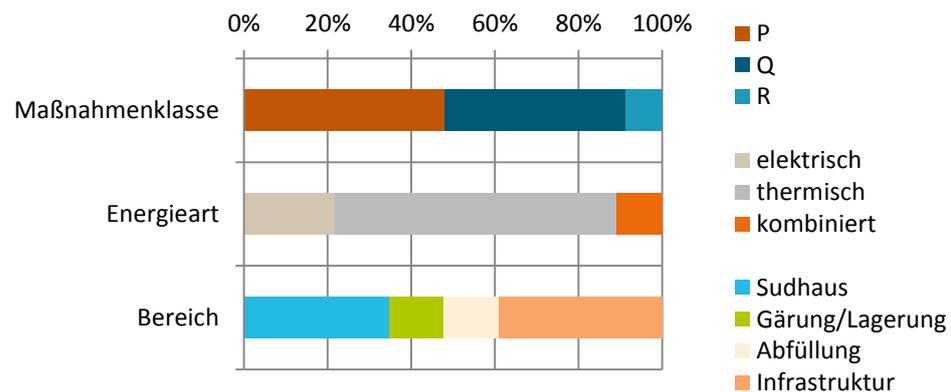
Im Bereich Infrastruktur sind die meisten Maßnahmen vorzufinden. Der Zusammenhang zwischen der hohen Anzahl der Maßnahmen und diesem Bereich kann aus dem Sachverhalt hergeleitet werden, dass die Erzeugung und Verteilung der Medien außerhalb des eigentlichen Brauprozesses stattfindet und große Wirkungsgradverluste in der ersten Umwandlungsstufe zu verzeichnen sind. Hier wurden die Aggregate zur Erzeugung von Dampf, Kälte und Druckluft modernisiert, optimiert und Verteilnetze durch Reparatur, Überwachung und Steuerung sowie Isolierung ertüchtigt. Erwartungsgemäß sind bei der Dampferzeugung die größten Einsparungen zu verzeichnen. Beispielsweise kann die Modernisierung der Feuerungsanlage bis zu 11 kWh/hl und die Verbesserung der Isolierung der Dampfverteilsysteme bis zu 7 kWh/hl Wärmeenergieeinsparungen realisieren. Der Umstieg auf drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern kann für Unternehmen überdies eine Elektroenergieeinsparung von bis zu 6 kWh/hl bedeuten. Durch Druckluft und Kühlsystemverbesserungen können auch erhebliche Einsparungen der elektrischen Energie erreicht werden. Sonstige übergreifende Maßnahmen, wie die Modernisierung und Optimierung der Beleuchtungsquellen bzw. -konzepte führt zu Verringerung des spezifischen Elektroenergiebedarfes um bis zu 1,4 kWh/hl.

4.2 Energieeinsparpotenziale

Aus dem ermittelten durchschnittlichen Stand, auf dem sich die Brauerei (Musterbrauerei) hinsichtlich der Energieeffizienz befindet, werden die Einsparpotenziale planungsrelevanter Maßnahmen für die Brauereien im folgenden Abschnitt abgeschätzt.

Aus 89 Maßnahmen zur Energieeffizienzverbesserung, die innerhalb der Studie ermittelt wurden, stellen noch 46 ein Verbesserungspotenzial dar (UG1-UG3). Die Gesamtübersicht kann in Anlage B: „Auswertung der Umfrage zu Umsetzungsgraden der eruierten Maßnahmen“ nachgeschlagen werden. Die durchgeführten Maßnahmen teilen sich in folgende Klassen auf:

Abb. 14:
Quantitative Verteilung der potenzialbildenden Maßnahmen



Maßnahmen aus den Klassen (vgl. Seite 34) P (22 Maßnahmen) und Q (20 Maßnahmen) sind ungefähr gleich häufig vertreten. Die Klasse R beinhaltet hierbei nur noch 4 Maßnahmen aus ursprünglichen 11. Dies deutet darauf hin, dass Potenziale, die geringer Investitionen bedürfen, schon sehr weit ausgeschöpft sind. Während die in der Musterbrauerei durchgeführten thermischen und elektrischen Einsparungen annähernd gleichverteilt waren, beziehen sich nun ca. 70 % der ausgewählten Verbesserungen auf die Reduktion von rein thermischer Energie. Die Bereiche Sudhaus und Infrastruktur weisen die meisten Potenziale auf.

Im Weiteren erfolgt die allgemeine Auswertung zu den, in den einzelnen Bereichen möglichen Maßnahmen. Die Auswertungstabellen sind wie folgt aufgebaut:

- Die laufende Nummer in den folgenden Tabellen gibt die Maßnahme im jeweiligen Bereich und die Art der Energie an, wie beispielsweise:

$$I_{\text{Therm.1}} = \text{Infrastruktur} | \text{thermische Maßnahme} | \text{Nummerierung}$$

- Benennung der Maßnahme
- Die Zugehörigkeit einer Maßnahme zu einer Klasse (P,Q,R) wird durch die Tabellenspalte festgelegt in die das Einsparpotenzial in kWh/hl eingetragen wird
- Die in der Tabelle hervorgehobenen Maßnahmen (fett formatiert) sind gemäß den Berechnungsvorschriften (vgl. Abschnitt 3.2) in die Berechnung eingegangen; die restlichen werden nicht einbezogen, beispielsweise aufgrund der Teilmengenproblematik und einer möglichen Potenzialüberschätzung.

4.2.1 Sudhaus

Ergebnisse

Das Sudhaus ist der zentrale Bereich einer Brauerei, in dem aus Wasser, Malz und Hopfen unter Zugabe von thermischer Energie die Würze hergestellt wird. In diesem laufen die Prozessschritte Maischen, Läutern, Kochen und Ausschlagen ab.

Das Sudhaus ist der größte thermische Verbraucher einer Brauerei. Die Maßnahmen, welche in diesem Bereich zur Reduktion des thermischen Energieverbrauches implementiert werden können, sind mit der Wärmerückgewinnung und Energiereintegration im Brauprozess verbunden. Die größten Potenziale ergeben sich durch den Einsatz von unkonventioneller Verfahrenstechnik, welche jedoch große Investitionen und Umbauten erfordern. Nur wenige Maßnahmen können hiervon genutzt werden, um das bestehende System zu verbessern. Neben der Würze fällt ein sehr wichtiger Produktionsreststoff an (Nebenprodukt), der Treber. Dieser bietet größeren Brauereien die Möglichkeit der energetischen Verwertung durch Treberverbrennung oder Biogaserzeugung. Der im Sudhaus anfallende elektrische Stromverbrauch, ergibt sich aus dem Einsatz von Pumpen und Antrieben zwischen und in den einzelnen Prozessschritten. Die Maßnahmen, welche den Verbrauch an elektrischer Energie reduzieren, beziehen sich auf die Energieeffizienzsteigerung der genannten Aggregate. Da Pumpen und Antriebe in der gesamten Brauerei Verwendung finden, werden die Maßnahmen dem Bereich Infrastruktur zugeordnet.

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]
S_{Therm1}	Wärmerückgewinnung aus dem heißem Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage		2,5*	
S _{Therm2}	Umstieg von Plattenfilter auf Kompressionsfilter	4,75		
S _{Therm3}	Vorheizen von Reinigungsmitteln der CIP-Anlage mittels Würzekühlung	n/a		
S _{Therm4}	mechanische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	5,75		
S _{Therm5}	thermische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	4,5		
S _{Therm6}	Einsatz des Würzekoch- und Strippingsystems "Merlin"	7,75		
S _{Therm7}	Einsatz des High-Gravity-Brewing-Systems		5,5	
S _{Therm8}	Vakuumkochverfahren	1,13		
S_{Therm9}	Rektifikationswürzekochung	7,5		
S _{Therm10}	Einsatz des Würzestrippsystems "Boreas"	3		
S _{Therm11}	Einsatz des Würzestrippsystems "Stromboli"	4,5		
S _{Therm12}	Rückgewinnung der Abwärme aus der Whirlpoolpfanne		0,87	
S _{Therm13}	Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze zur Beheizung der Maischepfanne		1,54	
	Summe	7,5	2,5	0

Tab. 15:
Maßnahmen zur thermischen Energieeinsparung im Bereich Sudhaus

Aus den 13 gelisteten Maßnahmen wurden nur jene Maßnahmen für die Berechnung ausgewählt, welche nach der Berechnungsvorschrift in Kapitel 3.2 (Mathematisches Modell) keine Überschneidungen aufweisen. So handelt es sich bei vielen Maßnahmen um Systeme, die in sich geschlossene Einheiten sind oder um neue Verfahrensarten. Ohne Experten und Erfahrungswissen ist es nur bedingt möglich herauszustellen, inwiefern die Maßnahmen zu einem bestimmbar Teil komplementär sind. Folglich wurde nur die Maßnahme mit der größten Einsparung ausgewählt.

In dieser und auch in den folgenden Tabellen sind die Maßnahmen aus den Quellen ENERGY STAR, 2003 und NATURAL RESOURCES CANADA, 2011 grau markiert, weil diese die Werte für U.S. Brauereien mit Stand vom Jahr 2000 repräsentieren und tendenziell höhere Einsparungswerte aufweisen als die, der vergleichbaren Maßnahmen aus europäischen Quellen mit aktuellerem Datum. Aus diesem Grund werden die Werte aus diesen Maßnahmen nur bedingt in die Rechnung einfließen.

Ausgewählt wurden die Rektifikationswürzekochung und die Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage. Das Einsparpotenzial der letzteren Maßnahme ist verbunden mit zwei weiteren Maßnahmen im Bereich Abfüllung und ist in der Tabelle mit * gekennzeichnet.

Zusammenfassend sind in diesem Prozessbereich die größten Einsparpotenziale zu sehen. Alle gewählten Maßnahmen können bereits in der Anlagenplanung berücksichtigt werden.

4.2.2 Gärung und Lagerung

Bei der Gärung in den Gärbehältnissen wird die, im vorhergehenden Prozessbereich, hergestellte Würze mit Hefe vermischt und in Alkohol und Kohlensäure gespalten. Hier finden auch die Prozesse Filtration und ggf. Entalkoholisierung sowie Haltbarmachung, statt. Der Gärprozess wird durch die Kühlung gesteuert. In diesem Prozessbereich ist daher ein großer Stromverbrauch zur Kälteerzeugung zu verzeichnen.

Tab. 16:
Maßnahmen zur thermischen
Energieeinsparung im Bereich
Gärung und Lagerung

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]
G_{Therm1}	Entalkoholisierung mittels Dialyse	4,75		
G_{Therm2}	Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisation		0,25	
G_{Therm3}	Wärmerückgewinnung bei der Kühlung		0,25	
	Summe		0,25	

Der Prozess der Entalkoholisierung bedarf thermische Energie, wovon ein großer Teil mittels Dialyse eingespart werden kann. Im Rahmen dieser Studie konnte nicht untersucht werden, welchen Anteil das alkoholfreie Bier am gesamten Produktionsvolumen hat, was die Abschätzung des Einsparungspotenzials für eine Musterbrauerei erschwert. Gewählt wird folglich nur die Wärmerückgewinnung bei der Kühlung, weil die Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisation auch bei der Kurzzeiterhitzung mittels Plattenwärmer in der Musterbrauerei schon enthalten ist.

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]	Anmer- mer- kungen
G _{Elektr} 1	Immobilisierte Hefefermentation zur Beschleunigung des Gärvorgangs	n/a			
G_{Elektr}2	Isolierung der Lagerhalle		3,84		
G _{Elektr} 3	Mikrofiltration für die Sterilisation	n/a			
	Summe		3,84		

Ergebnisse

Tab. 17:
Maßnahmen zur elektrischen Energieeinsparung im Bereich Gärung und Lagerung

Durch die Isolierung der Lagerhalle kann ein großer Teil der elektrischen Energie eingespart werden, der pro Hektoliter für die Kälterzeugung im Bereich Gärung/Lagerung notwendig ist. Hohe Energieeinsparungen sind auch durch unkonventionelle Verfahren wie „Immobilisierte Hefefermentation zur Beschleunigung des Gärvorgangs“ und „Mikrofiltration für die Sterilisation“ zu erwarten, jedoch sind dazu keine genauen Daten veröffentlicht.

Zusammenfassend kann das bei der Gärung/Lagerung aufgeführte Potenzial während des Betriebs mit überschaubaren Investitionen erreicht werden; deren Berücksichtigung ist auch während der Planungsphase möglich. Bei den Maßnahmen, die eine Prozessveränderung mit sich führen und geplant werden müssen, ist die Höhe der Einsparungen nicht weiter spezifiziert.

4.2.3 Abfüllung

Bei der Abfüllung wird Bier in verschiedene Behältnisse – Flaschen, Dosen, Fässer – gefüllt, die zuvor gesäubert wurden. Flaschen werden in Flaschenwaschmaschinen gereinigt, wo sie unterschiedliche Laugenbäder und Spritzungen durchlaufen. Danach werden diese befüllt und bei Bedarf anschließend pasteurisiert. Die KEGs (Fässer) durchlaufen zunächst die Außenreinigung und Restentleerung, anschließend die Innenreinigung mit Wasser, Lauge, Säure und Dampf. Abschließend erfolgen eine Kontrolle der Fässer und die Befüllung. In der Abfüllhalle ist das Verhältnis von benötigter thermischer und elektrischer Energie annähernd ausgeglichen.

Tab. 18:
Maßnahmen zur thermischen Energieeinsparung im Bereich Abfüllung

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]
A _{Therm} 1	Wärmerückgewinnung aus dem Waschprozess mittels Rohrbündelwärmetauschern		1,4	
A _{Therm} 2	Vorwärmen der Flaschen im Rekuperationsbad	5,8		
A_{Therm}3	Modernisierung der Flaschenwaschmaschinen durch Kaskadenvorwärmung und Dämmung	1,27		
A_{Therm}4	Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der KEG Reinigungsanlage		*	
A_{Therm}5	Nutzung des Überwassers in der KEG Anlage zur Vorwärmung		*	
	Summe		1,27	

Die grau hinterlegten Werte werden aus bereits beschriebenem Grund (Werte für U.S. Brauereien, Aktualität) nicht in die Potenzialbewertung einfließen. Zudem ist der Wert für $A_{Therm,2}$ (5,8 kWh/hl) nicht plausibel, da im Ganzen, im betrachteten Bereich in Summe nur ca. 5,3 kWh/hl (vgl. 4.1: 21 % von 25,01 kWh/hl) benötigt werden.

Tab. 19:
Maßnahmen zur elektrischen Energieeinsparung im Bereich Abfüllung

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]	Anmer- kungen
A_{Elektr}1	Optimierung der Knallgasabsaugung			0,11	
	Summe			0,11	

Bei der Optimierung der Knallgasabsaugung handelt es um eine betriebsoptimierende Maßnahme, welche keine Investitionen oder Stillstände erfordert.

Zusammengefasst finden sich in diesem Bereich Maßnahmen aller Klassen wieder. Das größte Potenzial stellen auch hier planerische Maßnahmen dar. Wie im Sudhaus liegt der Hauptansatz zur Energieersparnis in der Wärmerückgewinnung.

4.2.4 Infrastruktur

Neben den drei vorgestellten Produktionsabschnitten gibt es den Bereich Infrastruktur, welcher Nebeneinrichtungen enthält, die die Funktion der Ver- und Entsorgung für die oberen Produktionsschritte übernehmen. Darunter kann neben der Medienversorgung mit Wärme, Dampf, Kälte und Druckluft auch die Wasseraufbereitung, Reinigung sowie Büro und Lagerbereich verstanden werden. In diesen Bereich sind sehr viele Maßnahmen, ca. 65 %, bereits umgesetzt, da viele dieser Möglichkeiten eine geringe Investition innehalten. Neben der Nutzung von Abwärme und Dämmung ist die Versorgungssystemauslegung und -optimierung für die Energieeinsparungen in diesem Bereich wichtig. Ein besonderer Aspekt der Energiewiederverwertung liegt in der Biogas-erzeugung aus Prozessabfallstoffen.

Tab. 20:
Maßnahmen zur thermischen Energieeinsparung im Bereich Infrastruktur

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]
I_{Therm}1	Nutzung der Kompressorenabwärme			n/a
I_{Therm}2	Wärmerückspeisung aus Kessel-Entschlammung		0,8	
I_{Therm}3	Automatische Überwachung des Kondensatableiters			0,3
I_{Therm}4	Einsatz einer Kondensat-Rückspeisenanlage zur Energieeinsparung bei der Kesselreinigung		5,2	
	Wärmerückgewinnung aus Kältemaschinen zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers		0,55	

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]	Ergebnisse
I _{Therm} 6	Nutzung der mit dem Kühlwasser abgeführten Abwärme im Heizkreislauf		0,54		
I _{Therm} 7	Dämmung des Sudhausdachs				
I _{Therm} 8	Ausstattung der Dachrinnenheizung, falls vorhanden, mit Sensorsteuerung		0,3		
I _{Therm} 9	Erzeugung von Biogas aus Trebern und anderen Abfallstoffen	11,1			
I _{Therm} 10	Nutzung einer Industriekläranlage mit Energierückgewinnung (Biogas)	2,2			
I _{Therm} 11	Betreiben einer Biogasverbrennungsanlage	10			
I _{Therm} 12	Nutzung der Kondensatorenabwärme zur Brauchwasservorwärmung	5,5			
	Summe	13,3	1,39	0,3	

Neben der Dämmung, Wärmerückgewinnung und operativen Optimierung bietet die Herstellung des Biogases aus den Trebern und Klärwasser das größte Potenzial für die Brauereien. Durch die Nutzung des eigens erzeugten Biogases kann knapp die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs der Musterbrauerei gedeckt werden.

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]	Tab. 21: Maßnahmen zur elektrischen Energieeinsparung im Bereich Infrastruktur
I _{Elektr} 1	Druckluftsystemoptimierung (z.B. Zusammenführen von Netzen)		0,86		
I _{Elektr} 2	Energetische Optimierung der Pumpensysteme		0,13		
I _{Elektr} 3	Bessere Abstimmung von Kühlleistung und Kühllast		0,42		
I _{Elektr} 4	Abwärmennutzung mit der Absorbtionskältemaschine	3			
	Summe		0,99		

Bei der Senkung des Verbrauchs der elektrischen Energie sind Maßnahmen bezüglich einer Versorgungsoptimierung umsetzbar. Diese sind meist mit überschaubaren Aufwänden und kurzen Stillstandzeiten umsetzbar. Zusammenfassend sind in diesem Bereich die größten Energieeinsparungen (15,98 kWh/hl) durch genehmigungsbedürftige Anlagen zu verwirklichen. Die betrieblichen Maßnahmen (Klasse Q) in diesem Bereich haben nur einen Anteil von ca. 6,7% des Einsparpotenzials.

4.2.5 Kombinierte Maßnahmen

Des Weiteren gibt es Maßnahmen, welche sowohl thermische als auch elektrische Einsparungen aufweisen. Die Effekte sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Tab. 22:
Maßnahmen zur kombinierten
Energieeinsparung

Bereich	Maßnahme	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]	Anmer- kungen
S_{kombi1}	Sudhaus entsprechend einer Kas- kadenform	3,2			
S_{kombi2}	Ausschieben der Füllerleitungen mit CO₂ statt Wasser			0,01	
S _{kombi3}	Verwendung von Warmwasser aus dem Würzekühler für das Aufheizen beim Maischen		4,25		
I _{kombi1}	Betreiben eines BHKWs	16			
I _{kombi2}	Betreiben eines BHKWs in Verbin- dung mit einer Absorptionskältema- schine	19,7			
	Summe	3,2		0,01	

4.3 Gesamtergebnis

Ergebnisse

In den vorhergehenden Abschnitten konnten Möglichkeiten, die der Energieeffizienz im Unternehmen dienen, eruiert und verifiziert werden. Die Ergebnisse zeigen Potenziale auf, an welcher Stelle sich Kosten durch die Senkung des Energiebedarfs einsparen lassen.

Tab. 23:
Gesamtergebnis Darstellung

Bereich	P [kWh/hl]	Q [kWh/hl]	R [kWh/hl]	Summe
ΣS_{Therm}	7,5	2,5		
ΣG_{Therm}		0,25		
ΣG_{Elektr}		3,84		
ΣA_{Therm}	1,27			
ΣA_{Elektr}			0,11	
ΣI_{Therm}	13,3	1,39	0,3	
ΣI_{Elektr}		0,99		
ΣS_{Kombi}	3,2		0,01	
Summe Elektrisch		4,83	0,11	$\Sigma 4,94$
Summe Thermisch	22,07	4,14	0,3	$\Sigma 26,51$
Gesamtsumme	25,27	8,97	0,42	$\Sigma 34,66$

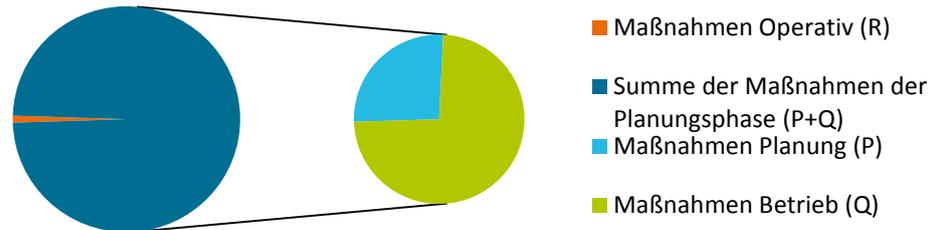
Das Ergebnis gibt als einen theoretischen Wert den **Umfang** der erschließbaren Einsparpotenziale an und erfüllt so den Untersuchungsauftrag einer fundierten Schätzung des **adressierbaren Energieeffizienzpotenzials**. Unter welchen Voraussetzungen einzelne Effekte in der Praxis erreicht werden können und welche Einsparungen sich in Kombination mehrerer oder aller Maßnahmen unter Berücksichtigung kumulativer Effekte erreichen lassen, war nicht Gegenstand der Untersuchung und müsste bei Bedarf in einer weiteren Studie explizit untersetzt werden.

Ziel war die Darstellung der Einsparpotenziale, die sich bereits bei der Anlagenplanung realisieren lassen, in Gegenüberstellung zu denen im Anlagenbetrieb. Unter der Annahme, dass die Maßnahmen, welche im Betrieb (Q) durchgeführt werden können, auch bereits in der Planung (P) Berücksichtigung finden, kann in Summe (P und Q) ein Einsparpotenzial von ca. 99 % (entspricht 34,24 kWh/hl) des Gesamtumfangs von 34,66 kWh/hl adressiert werden.

Die Maßnahmen, die ausschließlich der Planung zugeordnet werden konnten, haben einen Anteil von ca. 73 % (entspricht 25,27 kWh/hl) am Gesamteinsparpotenzial.

Mit zusätzlichen Maßnahmen, die sich auf einen betrieboptimierten Anlagenbetrieb (R) zurückführen lassen (beispielsweise energieeinsparendes Handeln, Optimierung der Prozessparameter), wird ein Einsparpotenzial von ca. 1 % (entspricht 0,42 kWh/hl) des Gesamtumfangs adressiert.

Abb. 15:
Prozentuale Verteilung aller
Maßnahmen zum Gesamtpotenzial



Die Maßnahmen, die ausschließlich der Einsparung der thermischen Energie zugeordnet wurden, haben einen Anteil von 76,5 % (entspricht 26,51 kWh/hl) am Gesamteinsparpotenzial. Die elektrischen Einsparungen haben einen Anteil von 14,3 % (4,94 kWh/hl). Die Restlichen 9,2 % sind kombinierte Maßnahmen (therm. und elektr.) und gehen in die Gesamtsumme ein. Die Gesamteinsparungen sind wie folgt eingeteilt:

- Bis zu 38 % der Gesamteinsparung macht die Nutzung des aus Abfallstoffen erzeugten Biogases (13,3 kWh/hl) aus.
- Bis zu 22 % werden eingespart, falls durch die Nutzung der Rektifikationswürzekochung tatsächlich 7,5 kWh/hl erreichbar sind. Dieses Verfahren wurde Aufbauend auf einer Grundlagenforschung zum Prozess der Würzekochung an der TU München durch die HERTEL GmbH entwickelt. Der Einsparungswert bezieht sich auf die erste Implementierung im industriellen Maßstab.
- Bis zu 12 % sind durch die Isolierung der Lagerhalle im Bereich Gärung und Lagerung sowie Dämmung des Sudhausdaches und Ausstattung mit einer Dachrinnenheizung, falls vorhanden, mit Sensorsteuerung, erreichbar.
- Bis zu 11 % kann durch Wärmerückgewinnung in den verschiedenen Bereichen erzielt werden
- Bis zu 10 % sind durch den kaskadenartigen Sudhausaufbau erreichbar
- Bis zu 4 % der Gesamteinsparung ist durch die Modernisierung der Flaschenabfüllung möglich.
- Sonstige Maßnahmen bilden 3 % des Gesamtpotenzials ab.

Bezugnehmend auf die Muster-Brauerei werden die beiden nachfolgenden Maßnahmen nicht in die Berechnungen der Einsparungen einbezogen.

- Die Nutzung des aus Abfallstoffen erzeugten Biogases stellt keine direkte Energieeinsparung dar, da die Abfallstoffe, aus denen die Energie gewonnen wird, nicht zum Energiebilanzkreis der Brauereien gehören.
- Die Nutzung der Rektifikationswürzekochung ist für eine bestehende Brauerei unwirtschaftlich, da die bisher für diesen Prozessschritt eingesetzten Anlagen eine lange Nutzungsdauer von bis zu 20 Jahren aufweisen. Darüber hinaus handelt es sich bei der Maßnahme um eine neuartige Technologie, welche noch nicht die Marktreife erlangt hat.

Somit führen in Relation zur Muster-Brauerei die Umsetzungen der restlichen Maßnahmen mit den bezifferten Maximaleinsparungen zu einer Reduktion des Energieverbrauches um bis zu 40 % (13,86 kWh/hl).

Aufgrund der Bandbreite, der in der Realität erzielbarer Einspareffekte werden nur 50 % der maximalerreichbaren Effekte in die Betrachtungen einbezogen. Daraus resultierend kann ein Einsparungspotenzial von 20 % angenommen werden.

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die Einsparungen aller betrachteten Maßnahmen nur eine begrenzte Aussagekraft haben und daher als Maximalwerte zu betrachten sind. Die Gründe dafür sind:

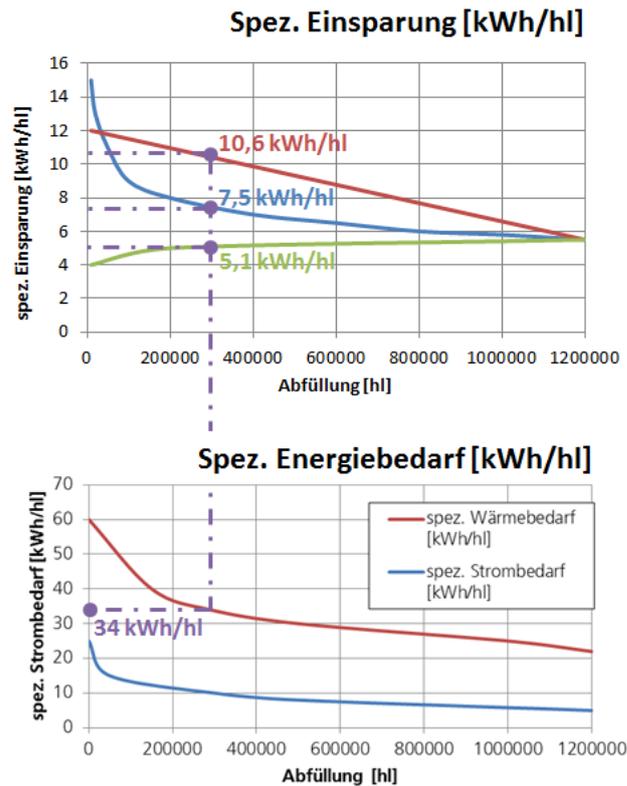
- Beim Vergleich der lokalisierten Möglichkeiten sind die Rahmenbedingungen nicht außer Acht zu lassen. Eine direkte Übernahme der Maßnahmen in die Produktion ist nur bedingt möglich, da die Produktionsstrukturen und Rahmenbedingungen zwischen den Unternehmen verschieden sind und diese einen Einfluss auf die Höhe der Einsparpotenziale haben. Die aufgezeigten Effekte stellen eine allgemeine Tendenz dar, was bei stabilen Produktions- und Umweltbedingungen erreicht werden kann.
- Die Effekte der einzelnen Maßnahmen geben keine Auskunft darüber ob dieser praktische Einsparungswert aus einem Unternehmen stammt, welches noch keine Schritte unternommen hat um effizienter zu produzieren oder ob dieser aus einer energiebewussten Brauerei stammt. Die angegebenen Effekte neigen zur Übertreibung.
- Wie beim spezifischen Energieverbrauch ist auch anzunehmen, dass der Ausstoß einen Einfluss auf den spezifischen Einsparungswert einer Maßnahme hat. Diese Annahme wird bekräftigt, durch die starken Abweichungen in den prozentualen Energieverteilungsmustern (Kap.2.3).

Um die Aussagekraft der bezifferten Effekte der Maßnahmen verbessern zu können, bedarf es einer erweiterten Datengrundlage. Für jede Maßnahme wären hierfür folgende Informationen notwendig:

- Erzielter Einsparungseffekt der Maßnahme aus mehreren Brauereien unterschiedlicher Größe. Werte aus jeder Brauereiklasse sind dabei wünschenswert.
- Nähere Angaben zu den Unternehmen, welche diese Maßnahme umgesetzt haben. Dazu gehören Daten zu Ausstoßmenge und Energieverbrauch sowie Informationen zu den spezifischen Energieverbräuchen vor und nach der Umsetzung.
- Genaue Branchenverbrauchswerte unterteilt in die Größenklassen

Aus diesen Informationen kann ein theoretischer Zusammenhang zwischen der Brauereigröße bzw. dem Ausstoß und dem Einsparungseffekt der Maßnahme, analytisch und grafisch, abgeleitet werden. Mit der daraus resultierenden Beschreibung des Zusammenhangs ist es möglich das Einsparpotenzial einer Maßnahme in Abhängigkeit der Brauereigröße (Ausstoß hl/a) und dem spezifischen Verbrauchswert zu ermitteln. Folgendes Beispiel soll verdeutlichen, welchen Einfluss die Unternehmensgröße sowie der mögliche Zusammenhang auf das Effizienzpotenzial einer Maßnahme haben.

Abb. 16:
Grafische Ableitung von
relativen Einsparpotenzialen



Betrachtet wird eine Maßnahme X mit einer thermischen Einsparung für eine Brauerei mit einem Jahresausstoß von 300.000 hl. Je nachdem welcher Zusammenhang zwischen der spezifischen Einsparung der Maßnahme und der Brauereigröße vorliegt, ergeben sich unterschiedliche Resultate. Bezieht man dann diese Effekte auf den spezifischen Wärmebedarf der Brauerei bzw. der Brauereigröße, erhält man unterschiedliche Einsparpotenziale [%] bezogen auf den Gesamtbedarf an thermischer Energie. Das heißt, wurde beispielsweise ein linearer Ansatz (rote Line) für den Zusammenhang ermittelt, dann beträgt das Einsparpotenzial 31,2 %. Für die blaue Kurve resultiert ein Wert von 22,1 % und für die grüne Kurve ein Potenzial von 15 %. Dies verdeutlicht, dass es von erheblicher Bedeutung ist, wie sich der Einspareffekt zur Brauereigröße verhält.

Da die in dieser Studie ermittelten Effekte jeweils nur aus der Umsetzung in einer Brauerei stammen, kann ein derartiger Zusammenhang nicht beschrieben werden, was unmittelbar zu Unsicherheiten in den Ergebnissen führt.

5 Fazit

.....
Fazit
.....

Das Thema Energieeffizienz ist zu einem zentralen Thema in der Gesellschaft geworden. Besonders industrielle Unternehmen müssen sich hier weiterentwickeln, um international wettbewerbsfähig zu bleiben.³⁵ Im Laufe der letzten 20 Jahre hat sich in der Brauereibranche viel verändert. Es wurde eine Menge für die Verbesserung des spezifischen Energieverbrauches getan. Haupttreibende Kräfte für die Verbesserung der Energieeffizienz waren wirtschaftlicher Natur (kostengetrieben), z.B. der Anstieg der Löhne um 30 % und explosionsartig in die Höhe gegangene Energiekosten. Dabei sind die Bierpreise zur gleichen Zeit nahezu konstant geblieben. Jede Energieeinsparung (Produktionskostenanteil von 5-10 %) ist ein Vorteil gegenüber dem Wettbewerber. Das, dass Thema Energieeffizienz einen großen Stellenwert in der Branche einnimmt ist daran zu erkennen, dass bei Anlagenneuanschaffungen die Herstellerangaben zu den Energieverbräuchen im laufenden Betrieb einer nochmaligen Prüfung, quasi zur Endabnahme, unterzogen werden.³⁶

Aufgrund der besonderen Energiesensitivität der Brauereibranche gibt es für Verbesserungen derzeit nur einen geringen Spielraum. Der aktuelle Stand kann als sehr nah am Optimum bewertet werden. Einsparungen durch gezielte Maßnahmen sind oft sehr gering, für Strom und für Wärme bewegen sich viele im Zehntel-Bereich pro kWh/hl. Eine große Anzahl an Maßnahmen, bei denen ein hohes Potenzial zu Energieeinsparung und ein spürbarer monetärer Nutzen zu erwarten ist, befindet sich aktuell in der Umsetzung, beispielsweise führt eine der interviewten Brauereien aktuell eine Maßnahme zur Druckluftnetzertüchtigung bzw. Neubau durch. Zur Analyse und Leckagen-Minimierung wurde in diesem Fall ein externes Beratungsunternehmen hinzu gezogen. In Summe werden ca. 12 % Stromeinsparung im Vergleich zu vorher erwartet. Weitere große Potenzialquellen an denen aktuell gearbeitet wird, liegen im Dampfverteilungsnetz und den -verbrauchern. Zukünftig werden die Messstellen an den Verbrauchern ausgebaut um diese kontinuierlich zu überwachen und Verlusten vorzubeugen. Die Modernisierung verschiedener Antriebe erfolgt laufend bei planmäßiger Instandhaltung. Die Potenziale zur Rückgewinnung der thermischen Energie werden mit bis zu 80 % sinnvoll verwertet³⁷. Die Restlichen 20 % liegen in der Nutzung der Niedertemperaturabwärme beispielsweise Heizen oder Brauchwasservorwärmung. Die Rückgewinnungsmöglichkeiten für elektrische Energie sind sehr begrenzt und risikobehaftet und werden daher nicht umgesetzt.

Möglichkeiten zu erheblichen Verbesserung in diesem Industriezweig sind in neuen Technologien und der Technologiesubstitution zu suchen. Dies wird bei den vorgestellten Maßnahmen im Bereich Sudhaus besonders deutlich. Jedoch ist die Umsetzung dieser mit hohem Aufwand, hohen Investitionskosten und Risiko verbunden. Aus der Erfahrung der Unternehmen bringt nicht jede Maßnahme die gewünschte Einsparung. Im schlimmsten Fall muss der ursprüngliche Stand wiederhergestellt werden.

Auf der infrastrukturellen Ebene eröffnen moderne Energieversorgungskonzepte außerordentliche Perspektiven. Einige Brauereien nutzen BHKWs für die Eigenenergieerzeugung, welche den Unternehmen helfen CO₂ und Kosten einzusparen und Teilautar-

³⁵ <http://www.energynet.de/2014/01/14/studien-zeigen-globale-bedeutung-der-energieeffizienz-der-produktion/>, 08.05.2015

³⁶ Im Interview mit einer Brauerei eruiert.

³⁷ Ebenda

kie zu erlangen. Die erzeugte Wärme von BHKWs wird direkt in den Prozess u. a. zur Heißwassererzeugung an der Brüdenverdichtung eingebracht. Die stromgeführten Anlagen werden so gefahren, dass kein Strom ins Netz zurückfließt. Zwar erfolgt hier nur eine reine Substitution des Primärenergieträgers, jedoch kann der Einsatz einer Absorptionskältemaschine den Wirkungsgrad steigern und zur Energieeinsparung führen. Eine entscheidende Technologie, welche eine derartige Versorgungskombination (tatsächlich bezogene Energie einzusparen) ermöglicht, ist die Biogas-Regeneration aus den Prozessabfällen in Form von Trebern und Klärwasser, weil sie einer Wiederverwendung der eingebrachten Ressourcen entspricht. Das erzeugte Biogas kann zum Teil oder ganz den herkömmlichen Gas-Bezug substituieren der zum Betrieb der Anlagen notwendig ist. Aufgrund der kapazitiven Anforderungen der Technologie wird diese meist nur von Großbrauereien benutzt.

Es gibt Bestrebungen von einigen Brauereien den Energiebedarf vollständig durch Eigenenerzeugung zu decken. Dabei erhält die Nutzung erneuerbarer Energien eine Schlüsselrolle. Zur elektrischen Energieerzeugung werden Windkraftanlagen und Photovoltaikpaneele benutzt. Thermische Energie kann durch Solar- und Geothermie in den Prozess³⁸ und in die Heizkreisläufe eingebracht werden, wobei die Integration in die Abläufe in der Industrie noch als zu unsicher und aufwendig angesehen wird und vorerst nicht stattfindet.

Anhand der durchgeführten Untersuchungen lassen sich folgende Kernaussagen zu den definierten Untersuchungsschwerpunkten treffen:

(H1) Veränderungen im Unternehmen auf Basis einer genehmigungsbedürftigen Planung erzielen größere Einsparungen als einzelne Maßnahmen, die ausschließlich im Betrieb durchgeführt werden.

Diese Hypothese lässt sich mit folgenden Aussagen der Studie bestätigen:

- 22 der 46 verbleibenden Maßnahmen (ca. 48 %) sind der Kategorie P zugeordnet und erfordern hohe Investitionen oder eine Genehmigung bei der Planung. 20 der 46 Maßnahmen (ca. 43 %) sind mit kurzen Anlagenstilllegungen im Betrieb durchzuführen, können jedoch in der Planungsphase der Anlagen auch berücksichtigt werden. Somit können ca. 91 % aller Maßnahmen bereits in der Planung Beachtung finden.
- Unter der Annahme, dass die Maßnahmen, welche im Betrieb (Q) durchgeführt werden, auch bereits in der Planung (P) Berücksichtigung finden, kann in Summe (P und Q) ein Einsparpotenzial von 99 % (entspricht 34,24 kWh/hl) des Gesamtumfangs von 34,66 kWh/hl adressiert werden. Die Maßnahmen, die ausschließlich der Planung zugeordnet werden konnten, haben einen Anteil von 73% (entspricht 25,27 kWh/hl) am Gesamteinsparpotenzial.
- Nur 4 der 46 Maßnahmen (ca. 8,7 %) sind Verbesserungen die ohne Investitionen und Stilllegungen erfolgen. Sie weisen lediglich ein Einsparpotenzial von ca. 0,42 kWh/hl (Gesamtenergieverbrauch, thermisch und elektrisch) auf.

³⁸ UNI Kassel, 2012

Der Beschaffenheit des Produktionsprozesses und des hohen Automatisierungsgrades geschuldet, sind die meisten Verbesserungen unweigerlich mit Investitionen und Stilllegungen verbunden und müssen in den Betriebsablauf eingeplant werden. Die größten Einsparungen sind verbunden mit der Integration von neuen Hauptanlagen. Die Umsetzung geht jedoch mit hohen Investitionskosten und ggf. Genehmigungsaufwand einher.

Die durch Mitarbeiter beeinflussbaren Energieeinsparungspotenziale liegen in der Überwachung und Optimierung der Betriebsparameter der Nebenaggregate. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrads ist der Einfluss der Mitarbeiter auf die Prozessverbräuche jedoch sehr gering. Im Rahmen der Einführung von Energiemanagementsystemen wird ein bewusster Umgang mit den Verbrauchern der Infrastruktur (Türen, Torre, Heizungen, etc.) geschult und ein Verbesserungssystem angeregt. Damit wird es möglich, die fast kaum noch messbaren Effekte auszuschöpfen. Das Potenzial, welches von den Mitarbeitern ausgeht, wird jedoch als gering eingestuft.

(H2) Durch die Nutzung von Speichern können Energieeffizienzpotenziale erschlossen werden.

Diese Hypothese lässt sich mit folgenden Aussagen der Studie bestätigen.

Speicher ermöglichen die Nutzung der Abwärme, die nicht direkt wieder in den Prozess zugeführt wird. Die Verwendung der zurückgewonnenen Wärmeenergie für die Niedertemperaturprozesse oder Heizung spielt eine wichtige Rolle. Der Energiespeichertank (Heisswasser) kann sogar zum zentralen Punkt im Unternehmen werden. Auch Kältespeicher können ihren Einsatz finden. Eisbänke aufgrund der latenten Schmelzwärme eignen sich gut als Energiespeicher. Damit wird eine Verlagerung der Kälteproduktion in die Nachtstunden und eine Verringerung der Leistungsspitze und Energiemenge erreicht.

(H3) Es besteht eine Korrelation zwischen Wasser- und Energieverbrauch.

Diese Hypothese lässt sich durch die, der Studie zugrunde liegenden Daten nicht eindeutig interpretieren. Ein schwacher Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wasserverbrauch kann vermutet werden. Bei einigen Maßnahmen zur Reduktion von thermischer Energie ist die Verringerung des Wasserverbrauchs ein willkommener Nebeneffekt. An dieser Stelle bedarf es detaillierteren Untersuchungen, welche sich primär mit diesem Sachverhalt auseinandersetzen.

(H4) Energieeffizienz kommt in großen und kleinen Unternehmen eine unterschiedliche Bedeutung zu und auch die Energieverteilungsstruktur ist unterschiedlich.

Diese Hypothese lässt sich mit folgenden Aussagen der Studie nur teilweise bestätigen.

Der spezifische Energieverbrauch variiert mit der Betriebsgröße. Kleine Brauereien weisen typischerweise einen höheren spezifischen Energieverbrauch auf. Je höher der Bierausstoß desto geringer ist typischerweise der spezifische Energieverbrauch. Dieser Effekt lässt sich auch in der Kategorie: Großbrauereien ab 500.000 hl beobachten. Die Struktur der Energieverteilung der Kleinbrauereien unterscheidet sich häufig von der, der Mittleren- und Großbrauereien.

Jedoch hat das Thema Energie einen hohen Stellenwert besonders in kleinen und mittleren Brauereien. Einige der innovativsten Maßnahmen wurden in dieser Größenklasse umgesetzt. Aufgrund der hohen Investitionskosten, hoher Nutzungsdauer der Neuananschaffungen und Förderung durch staatliche Programme versuchen die Unternehmen innovative technische Lösungen umzusetzen um zukunftssicher aufgestellt zu sein.

Zusammenfassend lässt sich folgendes Festhalten:

- Brauereibranche ist eine sehr energiebewusste Branche, welche nah an ihrem energetischen Optimum arbeitet.
- Es gibt keine Maßnahme im Maßnahmenkatalog, die einen UG1 hat, also der Allgemeinheit der Brauereien unbekannt ist.
- Große Einsparungen lassen sich nur durch Technologiesubstitution erzielen.
- Operatives Energieeinsparpotenzial wird als gering eingestuft.
- Durch Nutzung des aus Produktionsabfällen erzeugten Biogases in Verbindung mit BHKW mit Absorptionswärmekühler kann ein erheblicher Teil des Energiebedarfs erzeugt werden. Hinderlich dabei ist die sehr aufwändige und komplizierte BHKW-Genehmigung. Die fehlende Planbarkeit für die Zukunft aufgrund sich ändernder Rahmenbedingungen bei der Energiegesetzgebung bremst die Investitionen in derartige Technologien zurzeit aus.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen dem sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft einen Überblick zu den möglichen Potenzialen, Energie im Brauereiprozess einzusparen, geben und dabei speziell untersetzen, welcher Umfang der Potenziale sich bereits in der Planungsphase adressieren lässt.

3sat, 2015. „Die Energieziele der deutschen Regierung“, [online] [Zugriff am 05. April 2015]. Verfügbar unter:
http://www.3sat.de/page/?source=/nano/glossar/energieziele_d.html

BLUE GLOBE REPORT, 2009. „Green Brewery - Null CO₂ Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am 06. Januar 2016]. Verfügbar unter: <https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf>

bmwi, 2016. „Integriertes Energie- und Klimaprogramm (IEKP) der Bundesregierung“, [online] [Zugriff am 04. März 2016]. Verfügbar unter:
<http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=254040.html>

BREWERS ASSOCIATION, 2013. „Energy Usage, GHG Reduction, Efficiency and Load Management Manual“, [online] [Zugriff am 09. Dezember 2015]. Verfügbar unter:
https://www.brewersassociation.org/attachments/0001/1530/Sustainability_Energy_Manual.pdf

Deutscher Brauerbund, 2016. *Die deutschen Brauer*, [online] [Zugriff am 02. März 2016]. Verfügbar unter: <http://www.brauer-bund.de/deutscher-brauer-bund.html>

ENERGY STAR, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries“ *An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers, Sponsored by the U.S. Environmental Protection Agency*, [online] [Zugriff am 09. Dezember 2015]. Verfügbar unter: <https://www.energystar.gov/ia/business/industry/LBNL-50934.pdf>

Idf, 2016. *Arbeit der Revision*, [online] [Zugriff am 02. Februar 2016]. Verfügbar unter:
<http://www.idf-germany.com/idf-dienstleistungen-aufgaben/idf-umweltschutz-technik/news-detail/datum////revision-des-bvt-merkblattes-nahrungsmittel-getraenke-und-milchindustrie/>

NATURAL RESOURCES CANADA, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“ *Second Edition in Zusammenarbeit mit der Brewers Association of Canada*, [online] [Zugriff am 07. Januar 2016]. Verfügbar unter:
https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oeefiles/pdf/publications/industry/Brewers_Guide_access_e.pdf

Statista I, 2014. „Bierausstoß der führenden Erzeugerländer weltweit in den Jahren 2012 bis 2014 (in Millionen Hektoliter)“, [online] [Zugriff am 02. März 2016]. Verfügbar unter:
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/166856/umfrage/bier-top-10-der-laender-mit-dem-hoechsten-bierausstoss-weltweit/>

Statista II, 2014. „Bierproduktion in Europa nach Ländern in den Jahren 2012 bis 2014 (in 1.000 Hektoliter)“, [online] [Zugriff am 02. März 2016]. Verfügbar unter:
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/175445/umfrage/bierproduktion-in-europa-nach-laendern/>

UBA, 2005. *Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie*, [online] [Zugriff am 06. Dezember 2015]. Verfügbar unter:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_nahrungsmittelindustrie_zf.pdf

UNI Kassel, 2011. *Studie „Das Potenzial solarer Prozesswärme in Deutschland“, Teil 1 des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben „SOPREN – Solare Prozesswärme und Energieeffizienz“* [online] [Zugriff am 03. März 2016]. Verfügbar unter: https://www.uni-kassel.de/maschinenbau/fileadmin/datas/fb15/Potenzial_solarer_Prozesswaerme_in_Deutschland.pdf

UNI Kassel, 2012. *Branchenkonzept „Solare Prozesswärme für Brauereien“, Teil 2 des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben „SOPREN – Solare Prozesswärme und Energieeffizienz“*, [online] [Zugriff am 10. Februar 2016]. Verfügbar unter: https://www.uni-kassel.de/maschinenbau/fileadmin/datas/fb15/2012_Branchenkonzept_Solare_Prozesswaerme_in_Brauereien__UniK__01.pdf

Warsteiner, 2013. *„Warsteiner braut effizient“*, [online] [Zugriff am 08. März 2016]. Verfügbar unter: <http://warsteiner-gruppe.de/de/pressemitteilungen/warsteiner-braut-effizient-0> verfügbar

WINenergy!, 2000. *Branchenkonzept „Energiekennzahlen und -sarpotenziale in Brauereien“ erstellt im Auftrag von Wirtschaftskammer OÖ, Ökologische Betriebsberatung & O.Ö. Energiesparverband*, [online] [Zugriff am 02. Februar 2016]. Verfügbar unter: http://www.win.steiermark.at/cms/dokumente/11263981_52485923/5311a767/Energiekennzahlen%20und%20Sarpotenziale%20in%20Brauereien.pdf

Anlage A: Fragebogen

1. Allgemeine Angaben zu Ihrem Unternehmen

1.1 Wie hoch ist Ihre Produktionskapazität pro Jahr

<input type="checkbox"/> bis 20.000 hl	<input type="checkbox"/> 20.000 bis 100.000 hl	<input type="checkbox"/> 100.000 bis 500.000 hl	<input type="checkbox"/> über 500.000 hl
--	--	---	--

1.2 Wie viel Prozent Ihres Ausstoßes wurden (2015) in etwa für die Abfüllung von Flaschen, Dosen und KEG verwendet?

Flaschen	Dosen	KEG
_____ %	_____ %	_____ %

1.3 Wird in Ihrem Unternehmen aktuell eine Software zur Energiedatenerfassung eingesetzt?

<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> keine Aussage möglich
-----------------------------	-------------------------------	--

1.4 Welche Energie- oder Umweltnorm findet in Ihrem Unternehmen Anwendung? (Mehrfachnennung möglich)

<input type="checkbox"/> ISO 50001 (Energiemanagementsystem)	<input type="checkbox"/> DIN EN 16247-1 (Energieaudit)
<input type="checkbox"/> ISO 14001 (Umweltmanagementsystem)	<input type="checkbox"/> Andere Auditierung (z.B. Sächs. Gewerbeenergiepass):
<input type="checkbox"/> EMAS (Umweltmanagementsystem)	_____
<input type="checkbox"/> keine	

2. Angaben zum Strom- und Wärmeverbrauch

2.1 Wie hoch war Ihr spezifischer Bedarf für Wärme (kWh/hl), Strom (kWh/hl) und Wasser (hl/hl) für das Jahr 2015, bezogen auf die Menge verkauften Bieres?

spezifischer Wärmebedarf	spezifischer Stromverbrauch	spezifischer Wasserverbrauch
_____ kWh/hl	_____ kWh/hl	_____ hl/hl

Sollten Ihre Eingaben nicht zu den angegebenen Einheiten passen, schreiben Sie bitte die verfügbare Einheit dazu.

2.2 Wie schätzen Sie die prozentuale Verteilung des Strom- und Wärmeverbrauchs in Ihrem Unternehmen bezogen auf die verschiedenen Produktionsbereiche ein?

	Sudhaus	Gärung/Lagerung	Abfüllung	Sonstige Bereiche
Wärmeverbrauch [in %]				
Stromverbrauch [in %]				

3. Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz

Wie schätzen Sie den Umsetzungsgrad der folgenden Maßnahmen ein?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

- Unbekannt:** Die Maßnahme wurde bis dato nicht betrachtet bzw. war bisher im Kontext des Brauereiprozesses unbekannt.
- Bekannt:** Die Maßnahme wurde als möglicher Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz identifiziert. Derzeit ist eine Umsetzung allerdings nicht geplant.
- Geplant:** Die Umsetzung der Maßnahme wurde entschieden, d.h. eine Realisierung ist mittelfristig geplant.
- In Umsetzung/Umgesetzt:** Die Maßnahme befindet sich momentan in der Umsetzung bzw. wurde bereits umgesetzt.

SUDHAUS

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/Umgesetzt
Aufbau des Sudhauses entsprechend einer Kaskadenform	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung aus dem heißem Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ausschieben der Füllerleitungen mit CO2 statt Wasser	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Umstieg von Plattenfilter auf Kompressionsfilter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz eines Pfannendunstkondensators zur Energierückgewinnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz eines Plattenwärmetauschers zur Kühlung der Würze und Erhitzung des kalten Nutzwassers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verwendung von Warmwasser aus dem Würzekühler für das Aufheizen beim Maischen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Optimierung des Würzekühlers (Dimensionierung, Wasservorwärmung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verwendung der ablaufenden Würze zur Erwärmung des Frischwassers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vorheizen von Reinigungsmitteln der CIP-Anlage mittels Würzekühlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thermische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mechanische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz des Würzekoch- und Strippingsystems "Merlin" (Steinecker)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz des High-Gravity-Brewing-Systems	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Energierückgewinnung aus dem Würzekühler (2-stufiger Kühlkreislauf)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vakuumkochverfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niederdruckkochverfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rektifikationswürzekochung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz des Würzestrippsystems "Boreas"	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz des Würzestrippsystems "Stromboli"	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rückgewinnung der Abwärme aus der Whirlpoolpfanne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze zur Beheizung der Maischepfanne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verwendung eines isolierten Heißwassertanks zur Energiespeicherung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GÄRUNG/LAGERUNG

.....
Anlage A: Fragebogen
.....

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/ Umgesetzt
Immobilisierte Hefefermentation zur Beschleunigung des Gärvorgangs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung bei der Kühlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Isolierung der Lagerhalle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Isolierung der Lagertanks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mikrofiltration für die Sterilisation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entalkoholisierung mittels Dialyse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kurzzeiterhitzung mittels Plattenwärmer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ABFÜLLUNG

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/ Umgesetzt
Wärmerückgewinnung aus dem Waschprozess mittels Rohrbündelwärmetauschern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vorwärmen der Flaschen im Rekuperationsbad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modernisierung der Flaschenwaschmaschinen durch Kaskadenvorwärmung und Dämmung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der KEG Reinigungsanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung des Überwassers in der KEG Anlage zur Vorwärmung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Optimierung des gesamten Lüftungssystems in der Verladehalle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Optimierung der Knallgasabsaugung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

INFRASTRUKTUR

Druckluftversorgung, Kessel und Dampfverteilung

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/ Umgesetzt
Erneuerung der Druckluftherzeugungsanlage (z.B. Schraubenkompressor mit einer elektronischen Drehzahlregelung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erneuerung der Druckluftaufbereitung nach den Kompressoren (z.B. Modernisierung des Trockners, Anpassung der Filter auf den Volumenstrom)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Druckniveau-Optimierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimierung von Druckluftleckagen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Druckluftsystemoptimierung (z.B. Zusammenführen von Netzen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung der Kompressorenabwärme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regelmäßige Wartung des Heizkessels (Justierung, chem. Reinigung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Optimierung der Kesselsteuerung und Temperaturregelung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung Umgesetzt
Ventilüberprüfung im Kondensat-System und Kesselhaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückspeisung aus Kessel-Entschlammung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regelmäßige Wartung des Kondensatableiters	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatische Überwachung des Kondensatableiters	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leckagen-Reparatur (Dampfleitungen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz einer Kondensat-Rückspeisenanlage zur Energieeinsparung bei der Kesselreinigung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verbesserung der Isolierung der Dampfverteilungssysteme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erneuerung der Dampfleitungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modernisierung und Optimierung der Feuerungsanlage (Kesselhaus)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Economiser zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einbau einer modernen O ₂ -/CO-Regelung für die Feuerungsanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Motoren und motorennutzende Systeme, Kälte- Und Kühltechnik

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung Umgesetzt
Drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prüfung der Dimensionierung von Motoren, Pumpen und Kompressoren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verwendung hocheffizienter Motoren, Pumpen und Systemkomponenten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Energetische Optimierung der Pumpensysteme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modernisierung der Motoren und Getriebe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drehzahlregelung der Kältepumpen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Umstellung auf moderne Hochleistungsschmierstoffe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bessere Abstimmung von Kühlleistung und Kühllast	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz von Ammoniak als natürliches Kältemittel im zentralen Kühlsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Optimierung und regelmäßige Wartung der Kühlsysteme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Isolierung von Kühlleitungen und Ummantelungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abwärmennutzung mit der Absorptionskältemaschine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung aus Kältemaschinen zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung der mit dem Kühlwasser abgeführten Abwärme im Heizkreislauf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung der Kondensatorenabwärme zur Brauchwasservorwärmung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sonstige Infrastruktur und übergreifende Maßnahmen

.....
 Anlage A: Fragebogen

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/ Umgesetzt
Modernisierung der Leuchtmittel sowie der Beleuchtungskonzepte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Licht- und Temperatursteuerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung der rückgewonnenen Wärme aus den Produktionsbereichen zur Reduzierung des Gebäudeheizbedarfes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dämmung des Sudhausdachs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ausstattung von Dachrinnenheizung, falls vorhanden, mit Sensorsteuerung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Umstellung auf automatische Reinigung mit Heißwasser (Sudgefäße, Hefe-, Gär-, Lager- und Drucktanks)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Optimierung der Lüftungsanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anstreben des Vollastbetriebs bei der Produktionsplanung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmedämmung von Anlagen und Verbindungsstücken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NUTZUNG VON ENERGIE AUS ABFALLSTOFFEN

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/ Umgesetzt
Erzeugung von Biogas aus Trebern und anderen Abfallstoffen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung einer Industriekläranlage zur Erzeugung von Biogas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Betreiben von Anlagen mit Biogas :				
- BHKW	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- BHKW in Verbindung mit einer Absorptionskältemaschine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Biogasverbrennungsanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Kontaktdaten

Dürfen wir Sie für eventuelle Rückfragen zum Thema Energieeffizienz in der Brauerei-Industrie kontaktieren?

<input type="checkbox"/> nein	
<input type="checkbox"/> ja	Name: _____ Email: _____ Firma: _____ Telefon: _____

Anlage B: Auswertung der Umfrage

Bereich	Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
SUDHAUS	Aufbau des Sudhauses entsprechend einer Kaskadenform		■		
	Wärmerückgewinnung aus dem heißem Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage		■		
	Ausschieben der Füllerleitungen mit CO ₂			■	
	Umstieg von Plattenfilter auf Kompressionsfilter		■		
	Einsatz eines Pfannendunstkondensators zur Energierückgewinnung				■
	Einsatz eines Plattenwärmetauschers zur Kühlung der Würze und Erhitzung des kalten Nutzwassers				■
	Verwendung von Warmwasser aus dem Würzekühler für das Aufheizen beim Maischen			■	
	Optimierung des Würzekühlers (Dimensionierung, Wasservorwärmung)			■	
	Verwendung der ablaufenden Würze zur Erwärmung des Frischwassers			■	
	Vorheizen von Reinigungsmitteln der CIP-Anlage mittels Würzekühlung		■		
	Thermische Brüdenverdichtung – Würzekochen		■		
	Mechanische Brüdenverdichtung – Würzekochen		■		
	Einsatz des Würzekoch- und Strippingsystems "Merlin" (Steinecker)		■		
	Einsatz des High-Gravity-Brewing-Systems			■	
	Energierückgewinnung aus dem Würzekühler (2-stufiger Kühlkreislauf)				■
	Vakuumkochverfahren		■		
	Niederdruckkochverfahren				■
	Rektifikationswürzekochung		■		
	Einsatz des Würzestrippsystems "Boreas"		■		
	Einsatz des Würzestrippsystems "Stromboli"			■	
Rückgewinnung der Abwärme aus der Whirlpoolpfanne		■			
Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze zur Beheizung der Maischepfanne		■			
Verwendung eines isolierten Heißwassertanks zur Energiespeicherung				■	
GÄRUNG/LAGERUNG	Immobilisierte Hefefermentation zur Beschleunigung des Gärvorgangs		■		
	Wärmerückgewinnung bei der Kühlung		■		
	Isolierung der Lagerhalle			■	
	Isolierung der Lagertanks				■
	Mikrofiltration für die Sterilisation		■		
	Entalkoholisierung mittels Dialyse		■		
	Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisation			■	
	Kurzzeiterhitzung mittels Plattenwärmer				■

Bereich	Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
ABFÜLLUNG	Wärmerückgewinnung aus dem Waschprozess mittels Rohrbündelwärmetauschern			■	
	Vorwärmen der Flaschen im Rekuperationsbad			■	
	Modernisierung der Flaschenwaschmaschinen durch Kaskadenvorwärmung und Dämmung			■	
	Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der KEG Reinigungsanlage		■		
	Nutzung des Überwassers in der KEG Anlage zur Vorwärmung		■		
	Optimierung des gesamten Lüftungssystems in der Verladehalle				■
	Optimierung der Knallgasabsaugung			■	
INFRASTRUKTUR (Druckluftversorgung, Kessel und Dampfverteilung)	Erneuerung der Druckluftherzeugungsanlage (z.B. Schraubenkompressor mit einer elektronischen Drehzahlregelung)				■
	Erneuerung der Druckluftaufbereitung nach den Kompressoren (z.B. Modernisierung des Trockners, Anpassung der Filter auf den Volumenstrom)				■
	Druckniveau-Optimierung				■
	Minimierung von Druckluftleckagen				■
	Druckluftsystemoptimierung (z.B. Zusammenführen von Netzen)			■	
	Nutzung der Kompressorenabwärme		■		
	Regelmäßige Wartung des Heizkessels (Justierung, chem. Reinigung)				■
	Optimierung der Kesselsteuerung und Temperaturregelung				■
	Ventilüberprüfung im Kondensatsystem und Kesselhaus				■
	Wärmerückspeisung aus Kessel-Entschlammung			■	
	Regelmäßige Wartung des Kondensatableiters				■
	Automatische Überwachung des Kondensatableiters			■	
	Leckagen-Reparatur (Dampfleitungen)				■
	Einsatz einer Kondensat-Rückspeisanlage zur Energieeinsparung bei der Kesselreinigung			■	
	Verbesserung der Isolierung der Dampfverteilungssysteme				■
	Erneuerung der Dampfleitungen				■
	Modernisierung und Optimierung der Feuerungsanlage (Kesselhaus)				■
	Economiser zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers				■
	Einbau einer modernen O ₂ -/CO-Regelung für die Feuerungsanlage				■

 Anlage B: Auswertung der Umfrage

Bereich	Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
INFRASTRUKTUR (Motoren und motorennutzende Systeme, Kälte- und Kühltechnik)	Drehzahlgeregelte Antriebe mit Frequenzumformern				
	Prüfung der Dimensionierung von Motoren, Pumpen und Kompressoren				
	Verwendung hocheffizienter Motoren, Pumpen und Systemkomponenten				
	Energetische Optimierung der Pumpensysteme				
	Modernisierung der Motoren und Getriebe				
	Drehzahlregelung der Kältepumpen				
	Umstellung auf moderne Hochleistungsschmierstoffe				
	Bessere Abstimmung von Kühlleistung und Kühllast				
	Einsatz von Ammoniak als natürliches Kühlmittel im zentralen Kühlsystem				
	Optimierung und regelmäßige Wartung der Kühlsysteme				
	Isolierung von Kühlleitungen und Ummantelungen				
	Abwärmenutzung mit der Absorbtionskältemaschine				
	Wärmerückgewinnung aus Kältemaschinen zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers				
	Nutzung der mit dem Kühlwasser abgeführten Abwärme im Heizkreislauf				
	Nutzung der Kondensatorenabwärme zur Brauchwasservorwärmung				
SONSTIGE INFRASTRUKTUR UND ÜBERGREIFENDE MAßNAHMEN	Modernisierung der Strahlungsquellen sowie der Beleuchtungskonzepte				
	Licht- und Temperatursteuerung				
	Nutzung der rückgewonnenen Wärme aus den Produktionsbereichen zur Reduzierung des Gebäudeheizbedarfes				
	Dämmung des Sudhausdachs				
	Ausstattung der Dachrinnenheizung, falls vorhanden, mit Sensorsteuerung				
	Umstellung auf automatische Reinigung mit Heißwasser (Sudgefäße, Hefe-, Gär-, Lager- und Drucktanks)				
	Optimierung der Lüftungsanlage				
	Anstreben des Volllastbetriebes bei der Produktionsplanung				
	Wärmedämmung von Anlagen und Verbindungsstücken				
NUTZUNG VON ENERGIE AUS ABFALLSTOFFEN	Erzeugung von Biogas aus Trebern und anderen Abfallstoffen				
	Nutzung einer Industriekläranlage mit Energierückgewinnung (Biogas)				
	Betreiben eines BHKWs				
	Betreiben eines BHKWs in Verbindung mit einer Absorbtionskältemaschine				
	Betreiben einer Biogasverbrennungsanlage				

Anlage C: Relevante Maßnahmen

C1: Sudhaus

Maßnahmen	Wert kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Sudhaus entsprechend einer Kaskadenform aufbauen	3,2	2	P	W,S	Das neue Sudhaus ist kaskadenförmig aufgebaut. An oberster Stelle wurde mit dem Brauen begonnen und damit das natürliche Gefälle ausgenutzt, um die einzelnen Schritte des Brauvorgangs durchzuführen.
Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage	2,5*	2	Q	W	Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage.
Ausschieben der Füllerleitungen mit CO ₂ statt Wasser	0,007	3	R	W,S	Das Ausschieben der Füllerleitungen bei Sortenwechsel oder bei Abfüllende vom Drucktankkeller zum Flaschen- und Kegfüller ist von Wasser auf CO ₂ umgestellt worden. Dadurch kann das Bier bis in den Füller gedrückt und damit nahezu komplett abgefüllt werden. Prozessbiereinsparung 1100 hl, indirekte Energieeinsparung.
Umstieg von Plattenfilter auf Kompressionsfilter	4,75	2	P	W	Der Kompressionsfilter reduziert die Reinigungskosten und die Notwendigkeit den Filter mit Wasser zu spülen (da es durch die Luft gereinigt wird). Das Verfahren kann sowohl die Ausbeute erhöhen als auch den Wasserverbrauch verringern.
Verwendung von Warmwasser aus dem Würzekühler für das Aufheizen beim Maischen	4,25	3	Q	W,S	Würzekühlung kann eine der wichtigsten Energiesparmaßnahmen in der Brauerei sein, da die entstehende Abwärme im Wärmetauschprozess gleichzeitig zur Erwärmung der Maische nutzbar gemacht werden kann.
Vorheizen von Reinigungsmitteln der CIP-Anlage mittels Würzekühlung	n/a	2	Q	W	Anfallende Abwärme aus Prozessen, wie z. B. der Würzekühlung, kann zum Vorheizen von Reinigungsmitteln der CIP-Anlage (Cleaning in Place) integriert werden.
Mechanische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	5,75	2	P	W	Die Dämpfe, die sich in der Würz-Sudpfanne bilden, werden durch einen Verdichter komprimiert und beim Würzekochen wieder zugeführt. Dieses prozessinterne Verfahren zur Energierückgewinnung hat den Vorteil, dass die Wärme im gleichen Prozess wiederverwendet wird. Die Wirtschaftlichkeit der mechanischen Brüdenverdichtung steigt, wenn Brauereien mehrere Sudpfannen einsetzen und diese sequentiell betreiben.
Thermische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	4,5	2	P	W	Im Gegensatz zur mechanischen Brüdeverdichtung wird ein Dampfstrahlverdichter verwendet, um den Brüden mit Hilfe von Treibdampf aus der Würzepfanne anzusaugen und zu verdichten.

* Quellenangabe weißt lediglich ein Gesamtpotenzial von drei verschiedenen Maßnahmen auf. Die beiden anderen betreffenden Maßnahmen sind in Punkt C3: Abfüllung aufgenommen.

Maßnahmen	Wert kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Einsatz des Würzekoch- und Strippingsystems "Merlin" (Steinecker)	7,75	2	P	W	Ein Würzekochsystem, bei dem die Würze auf eine nach oben konische Heizfläche aufgebracht wird. Die Würze strömt auf diese Heizfläche in einem dünnen Dampffilm von oben nach unten, wobei die unedlen Aromen der Würze mit den Kochbrüden ausgetrieben werden. Merlin ist eingetragenes Warenzeichen der Krones AG.
Einsatz des High-Gravity-Brewing-Systems	bis 5,5	3	Q	W	Bier kann so gebraut werden, dass es einen geringeren Wasseranteil als normal besitzt. Im Zuge der Endfiltrierung kann dann wieder Wasser hinzugegeben werden. Dies spart Energie, z.B. beim Erwärmen, und kann die Qualität positiv beeinflussen.
Vakuumkochverfahren	1,13	2	P	W	Der eigentliche Kochprozess unterteilt sich in eine kurz andauernde Phase, der atmosphärischen Kochung, bei der alle wesentlichen thermischen Abbaureaktionen (beispielsweise Spaltung von DMS-P) stattfinden und einer nachfolgenden Phase, der Vakuumverdampfung. Durch diese Aufteilung kann eine erhebliche Reduzierung der Gesamtverdampfung mit der Folge eines deutlich verringerten Primärenergieeinsatzes erreicht werden. Durch den hohen Wärmegewinn im Pfannendunstkondensator ergibt sich ein weiteres signifikantes Einsparpotenzial.
Rektifikationswürzekochung	7,5	2	P	W	Bei der Rektifikationswürzekochung wird die Würze einer dampfseitigen Rektifikationskolonne zugeführt. Dabei wird sie im Gegenstromprinzip durch den Dampf geführt, sodass dieser weitere Aromastoffe aufnehmen kann. Die zur Erzielung der gewünschten Abnahmewerte benötigte Gesamtverdampfung kann dadurch deutlich reduziert werden und damit auch der Energieeinsatz. Sehr hohes Einsparpotenzial vorhanden.
Einsatz des Würzestrippsystems "Boreas"	3	2	P	W	Mit Boreas ist es möglich, den Sudprozess energetisch zu optimieren, entweder durch zeitliche, beziehungsweise qualitative Reduktion der Gesamtverdampfung oder mit einer Verminderung der Würzekochzeit und Entfernung der unerwünschten aromatischen Verbindungen. Das Verfahren steuert die Austreibung dieser Aromastoffe, insbesondere der Leitsubstanz Dimethylsulfid (DMS), ohne dass dabei der Sudprozess verändert oder auf erhöhte DMS-Werte mit längeren Kochzeiten reagiert werden muss. Erwünschte Aromastoffe, insbesondere die wichtigen Hopfenaromastoffe, werden von diesem Würzestripping-Prozess dagegen kaum oder eher positiv beeinflusst.
Einsatz des Würzestrippsystems "Stromboli"	4,5	3	P	W	Würzekochsystem mit Innenkocher, bei dem die Würze mittels einer gesteuerten Würzepumpe und einer nachgeschalteten Strahlpumpe optimal umgewälzt wird. Stromboli ist eingetragenes Warenzeichen der Krones AG.

Maßnahmen	Wert kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Rückgewinnung der Abwärme aus der Whirlpoolpfanne	0,87	2	Q	W	Die Abwärme der Whirlpoolpfanne kann zurückgewonnen werden und erhöht die Energieeffizienz des Kochprozesses.
Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze zur Beheizung der Maischepfanne „EquiTherm“	1,54	2	P	W	Der wesentliche Schritt ist die Aufteilung der Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze auf zwei Temperaturstufen, womit heißes Wasser zur Beheizung der Maischepfanne zur Verfügung steht. Um die Maischepfanne mit diesem heißen Wasser (anstelle von noch wesentlich heißerem Kesseldampf) überhaupt beheizen zu können, wurde die Wärmeübertragung in der Maischepfanne u. a. durch die Einführung einer neuartigen Heizflächenkonstruktion ermöglicht. Weitere positive Zusatzeffekte von sind der Wegfall der Heizflächenverkrustungen, die Erhöhung der Enzymaktivität und die Verbesserung der Maischequalität.

C2: Gärung/Lagerung

Maßnahmen	kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Immobilisierte Hefefermentation zur Beschleunigung des Gärvorgangs	n/a	2	P	S	Bei der herkömmlichen Batch-Fermentation, vergärt Hefe die Würze, während es in der mobilen Suspension ist. Bei immobilisierten Hefereaktoren dagegen wird Hefe stationär gehalten, während die Würze weiter fließt. Bier kann aus dieser Fermentation im Wesentlichen klar und frei von Hefe entstehen. Überdies verkürzt es den Gärprozess wesentlich.
Wärmerückgewinnung bei der Kühlung	0,25	2	Q	S	Wärmerückgewinnung: Die an den Kondensatoren der Kälteanlagen anfallende Wärme kann z.B. für eine Brauchwasservorwärmung eingesetzt werden. Dabei ist allerdings mit Maß und Ziel vorzugehen, weil eine zu hohe Kondensatortemperatur zu einem Mehrverbrauch in der teuren elektrischen Energie führt.
Isolierung der Lagerhalle	3,9	3	Q	S	Isolierung der Lagerhalle zur Erhaltung eines annähernd gleichbleibenden Mikroklimas.
Mikrofiltration für die Sterilisation	n/a	2	P	S	Während der Bierproduktion sind unterschiedliche Trennverfahren erforderlich. Die Pasteurisation ist ein traditioneller Ansatz das Bier zu sterilisieren. Alternativ dazu kann man Filtersysteme benutzen. Die Membranfiltration kann die Menge an Abfallmaterial signifikant reduzieren, wodurch die Entsorgungskosten sich ebenfalls verringern.
Entalkoholisierung mittels Dialyse	4,75	2	P	W	Die wichtigsten Entalkoholisierungsprozesse laufen während oder nach der Gärung via Dialyse ab. Ein anderer üblicher Ansatz ist die Fallfilmverdampfung und die Verwendung von speziellen Membranen.
Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisation	0,25	3	Q	W	Da moderne Pasteurisiergeräte eine Form von interner Wärmerückgewinnung besitzen, kann die Wärme, die in dem ausgeschiedenen Wasser enthalten ist, unter Verwendung von Pumpen oder Tauschern weiter genutzt werden. Der Betrieb der Wärmepumpen kann bspw. mit dem Heiz- und Kühlbedarf der Flaschenreinigungsmaschine abgestimmt werden.

C3: Abfüllung

Maßnahmen	kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Wärmerückgewinnung aus dem Waschprozess mittels Rohrbündelwärmetauschern	1,4	3	Q	W	Nutzung eines Rohrbündelwärmetauschern zur Energierückgewinnung im Waschprozess
Vorwärmen der Flaschen im Rekuperationsbad	5,8	3	P	W	Um den Wärmebedarf in den späteren Prozessschritten der Reinigung zu reduzieren, werden die Flaschen in einem Rekuperationsbad vorgewärmt, dazu wird die Wärme der Flaschen, die den Reinigungsprozess verlassen verwendet. Zusätzlich sind in den Reinigungs- und Etikettenentfernungsprozess mit mehreren Ätzbad-Zyklen Wärmerückgewinnung integriert.
Modernisierung der Flaschenwaschmaschinen durch Kaskadenvorwärmung und Dämmung	1,27	3	P	W	Die Flaschen werden mittels hohem Volumen an heißem Wasser gereinigt. Mit dem Abwasser kann ein Teil der Raumheizung erfolgen. Das Problem hierbei ist allerdings, dass es oft große Distanzen zwischen den Quellen und den einzelnen Senken gibt. Alte Flaschenwaschmaschinen sind oft nicht gedämmt und ohne Wärmerückgewinnung (z.B. Kaskadenvorwärmung).
Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der KEG Reinigungsanlage	*	2	Q	W	Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der KEG Reinigungsanlage und Wiedereinleitung
Nutzung des Überwassers in der KEG Anlage zur Vorwärmung	*	2	Q	W	Nutzung des Überwassers in der KEG Anlage zur Vorwärmung
Optimierung der Knallgasabsaugung	0,11	3	R	S	Optimierung Knallgasabsaugung an der Flaschenwaschmaschine

* Quellenangabe weißt lediglich ein Gesamtpotenzial von drei verschiedenen Maßnahmen auf. Das Potenzial ist in C1 Sudhaus ausgewiesen.

C4: Infrastruktur

Maßnahmen	kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Druckluftsystemoptimierung (z.B. Zusammenführen von Netzen)	0,86	3	Q	S	Zusammenführen von zwei Druckluftnetzen zu Einem; Senkung des Druckniveaus und der -toleranzen; Installation einer übergeordneten Steuerung für eine verbrauchsabhängige; Druckluftherzeugung; Eliminierung des Leerlaufanteils; Einsatz eines Schraubenkompressors mit hohem spezifischen Wirkungsgrad
Nutzung der Kompressorabwärme	n/a	2	R	W	Abwärme der Kompressoren im Winter für die Hallenbeheizung
Wärmerückspeisung aus Kessel-Entschlammung	0,8	3	Q	W	Beim Entfernen der Verunreinigungen aus dem Hochdruckkesseltank erzeugt die Druckreduzierung oft erhebliche Mengen an Wasserdampf. Dieser Dampf ist von niedriger Qualität, kann aber für die Raumheizung und Speisewasservorwärmung oder andere Anwendungen in der Brauerei verwendet werden.
Automatische Überwachung des Kondensatableiters	0,3	3	R	W	Die automatische Überwachung des Kondensatableiters kann schneller das Versagen des Kondensatableiters erkennen und zeigt an, wenn eine Dampffalle nicht mit maximaler Effizienz arbeitet.
Einsatz einer Kondensat-Rückspeisanlage zur Energieeinsparung bei der Kesselreinigung	5,2	3	Q	W	Die Wiederverwendung des heißen Kondensats im Kessel reduziert den Energie- und Kesselspeisewasserbedarf. Anstatt Frischwasser zu verwenden, um die Ansammlungen im Kessel zu entfernen, kann das Kondensat zurückgeführt werden.
Energetische Optimierung der Pumpensysteme	0,13	3	Q	S	Die Analyse des Heißwasserpumpensystems ergab, dass in mehr als einem Drittel des Jahres eine um 50 % geringere Umwälzleistung ausreichen würde. Das Ersetzen der beiden 600 m ³ /h Pumpen durch energieeffiziente Pumpen, der Einsatz von Hocheffizienzmotoren, das Verwenden eines Frequenzumrichters für den Betrieb mit veränderlicher Drehzahl, ein hydraulischer Abgleich des Heißwassernetzes oder ein temperaturabhängiges Regulieren der Überströmstrecken zur Rohrnetztemperierung und das Umstellen weiterer Großverbraucher auf lastabhängige Durchflussregelung sind gängige Optimierungsansätze.
Bessere Abstimmung von Kühlleistung und Kühllast	0,42	3	Q	S	Die Ermittlung der erforderlichen Grundlast und möglichen Spitzenlasten ist grundlegend durchzuführen. Mit Einsatz eines Schraubenkompressors zur Absicherung von Grundlast (Dauerbetrieb) und weiterer zuschaltbarer Kompressoren zur Abdeckung der Spitzenlasten kann ein Einsparpotenzial gehoben werden.
Abwärmenutzung mit der Absorbtkältemaschine	3	2	P	S	Die Absorptionskältemaschine nutzt statt elektrischer Energie, thermische Leistung. Es wird angenommen, dass diese aus einem Prozessabwasserstrom ohne großen Aufwand entnommen werden kann.

Maßnahmen	kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Wärmerückgewinnung aus Kältemaschinen zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers	0,55	2	Q	W	Wärmerückgewinnung aus Kältemaschinen zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers
Nutzung der mit dem Kühlwasser abgeführten Abwärme im Heizkreislauf	0,57	2	Q	W	Konkret wurde die Versorgung des bestehenden Warmwassernetzes durch die Integration der Abwärme der Kältemaschinen ergänzt. Damit wird eine Substitution der Energieversorgung durch Erdgas erreicht. Durch die erfolgreiche Umsetzung kann von einer sehr guten Skalierbarkeit der Maßnahme auf andere Brauereien ausgegangen werden.
Nutzung der Kondensatorabwärme zur Brauchwasservorwärmung	5,5	2	P	S	Hochwertige Wärme kann aus den Kesseldämpfen zurückgewonnen werden entweder durch die Sprühkondensatoren oder Wärmetauscher. Die Wärme aus dem Dampf kann für die Vorwärmung der ankommenden Würze verwendet werden, während die Wärme aus dem Dampf kondensat verwendet werden kann heißes Wasser zur Reinigung, Raumheizung, Keg-Reinigungs- oder für andere Anwendungen in der Brauerei zu erzeugen.
Dämmung des Sudhausdaches	0,3	3	Q	W	Eine erhöhte Eisbildung ist ein Indiz dafür, dass viel Wärme über die Dächer entweicht. Die Dächer sind besser zu dämmen
Ausstattung der Dachrinnenheizung, falls vorhanden, mit Sensorsteuerung		2	Q	W	Durch über die Dächer entweichende, warme Dämpfe wird mehr Eis (außen) gebildet als normal. Diese Heizungen werden jedoch meist handgesteuert und laufen so Gefahr, einfach vergessen zu werden und den ganzen Winter, eventuell sogar bis in den Sommer hinein, zu. Durch eine Sensorsteuerung sollte dies vermieden werden.
Erzeugung von Biogas aus Trebern und anderen Abfallstoffen	11,1	2	P	W	Nutzung der anfallenden Brauereireststoffe zur Erzeugung von Biogas (112 Nm ³ Biogas / Tonne Frischtreber haben einen mittleren Methananteil von 67 %). Für eine konservative Darstellung wurde ein Methangehalt von 60 % in die weitere Berechnung angenommen.
Nutzung einer Industriekläranlage mit Energierückgewinnung (Biogas)	2,2	2	P	W	Anaerobe Abwasserreinigung ist ein alternatives Verfahren zur Reinigung von industriellen Abwässern. Die organischen Verbindungen im Abwasser werden in Biogas umgewandelt, das vor Ort verwendet werden kann. Diese Systeme sind möglich, wenn die einfließende Konzentration -mindestens 1 kg BSB (biologisch abbaubare aerobe Stoffe) / m ³ beträgt.
Betreiben eines BHKWs	16-25	3	P	W,S	Für Branchen wie Brauereien, die Prozesswärme / Dampf oder Kälte und Strom benötigen, kann der Einsatz von Kraft-Wärme-Systemen eine wichtige Energieeffizienzmaßnahme sein und sie verringert auch die Umweltverschmutzung. Ein thermisch-elektrisches Verhältnis von 2: 1 ist üblich. Das BHKW ist wirtschaftlich rentabel, wenn es bei Volllast mindestens 5.000 St/a läuft.

Maßnahmen	kWh/hl	UG	P, Q, R	Wärme Strom	Beschreibung
Betreiben eines BHKWs in Verbindung mit einer Absorptionskältemaschine	19,7	2	P	W,S	Die Abwärme aus KWK-Anlagen kann zum Betreiben von Kühlsystemen (Absorptionskältemaschinen) verwendet werden.
Betreiben einer Biogasverbrennungsanlage	10	2	P	W	Nutzung der anfallenden Brauereireststoffe zur Erzeugung von Biogas (112 Nm ³ Biogas / Tonne Frischtreber haben einen mittleren Methananteil von 67 %). Für eine konservative Darstellung wurde ein Methangehalt von 60 % in die weitere Berechnung angenommen. In einem Kessel mit 90 % Umwandlungseffizienz können damit 9.000 MWh/a erzeugt werden bzw. bei einem Ausstoß von 900.000 hl Bier entsprechend 36 MJ/hl.

Anlage D: Quellenangaben zu den Maßnahmen

Bereich	Maßnahmen	Quelle
SUDHAUS	Sudhaus entsprechend einer Kaskadenform	Kamerliten Brauerei Karl Sturm GmbH & Co. KG, 2013. „Karmelitenbrauerei investiert in neues Sudhaus“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.karmeliten-brauerei.de/files/012_dgf_ztg_00_130913.pdf
	Wärmerückgewinnung aus dem heißem Abwasser der Sudhaus CIP-Anlage	Brau Union Österreich AG Helmut Gahbauer, Harald Raidl, Andreas Werner, 2009. „Green Brewery - Null CO ₂ Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf
	Ausschieben der Füllerleitungen mit CO ₂ statt Wasser	Effizienz-Agentur NRW, 2009. „Privatbrauerei Strate Detmold GmbH & Co. KG: - PIUS-Check der EFA weist den Weg Reduzierte Abfüllverluste und verbesserte Reinigung“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_upload/unternehmen/pdf/EFA_Privatbrauerei_Strate_Loseblatt.pdf
	Umstieg von Plattenfilter auf Kompressionsfilter	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf University of sussex, 2016. „5.0 Barriers to energy efficiency in Brewing“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.sussex.ac.uk/Units/spru/publications/reports/barriers/finalsection5.pdf
	Verwendung von Warmwasser aus dem Würzekühler für das Aufheizen beim Maischen	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Vorheizen der Reinigungsmittel der CIP-Anlage mittels Würzekühlung	ZVEI: Die Elektroindustrie, 2012. „Mehr Energieeffizienz durch Prozessautomation“, [online] [Zugriff am: 08.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.zvei.org/Publikationen/Mehr%20Energieeffizienz%20Final%200412.pdf

Bereich	Maßnahmen	Quelle
SUDHAUS	Mechanische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Thermische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Einsatz des Würzekoch- und Strippingsystems "Merlin" (Steinecker)	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Einsatz des High-Gravity-Brewing-Systems	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf Jan Oertli, 2013. „ <i>Wirtschaftlich signifikanter Effekt - Blending- und Karbonisieranlagen für Brauereien</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.corosys.com/unternehmen/news_termine/blending-und-karbonisieranlagen-brauereien/ Kathinka Engineering brewers, process engineers & consultants, 2009. „ <i>Sustainability: Eking out Capacity</i> “, Fachvortrag auf der Craft-Brewers Conference Boston, MA, USA
	Vakuumkochverfahren	http://www.esau-hueber.de/export/sites/www.esau-hueber.de/documents/Produktblaetter_de/System-Nerb-Varioboil.pdf 121102_abschlussbericht_pdfversion https://mediatum.ub.tum.de/doc/603682/603682.pdf

Bereich	Maßnahmen	Quelle
SUDHAUS	Rektifikationswürzekochung	dena Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2009. <i>Initiative EnergieEffizienz „1. Preis: Energy Efficiency Award 2009 für die ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG“</i> , [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/Datenblaetter_2009_deutsch.pdf
	Einsatz des Würzestrippsystems "Boreas"	Krones AG, 2012. <i>steinecker Boreas, „Würzestripping spart Energie“</i> , [online] [Zugriff am: 21.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.krones.com/downloads/boreas_de.pdf
	Einsatz des Würzestrippsystems "Stromboli"	Krones AG, 2012. <i>„Accolade for Boreas - International FoodTec Award 2012 for controlled evaporation of unwanted“</i> , [online] [Zugriff am: 21.03.2016]. Verfügbar unter: http://beverage-world.com/firmennews.php?keyfirma=2204487&sprache=de&menue=10&aktuelleseite=0
	Rückgewinnung der Abwärme aus der Whirlpoolpfanne	dena Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2014. <i>Initiative EnergieEffizienz, „Best Practice Energieeffizienz - Durch die Deutsche Enetgie-Agentur zur Nachahmung empfohlen“</i> [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiedienstleistungen/Dokumente/Broschuere_Best-Practice-Label.pdf
	Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze zur Beheizung der Maischepfanne	Krones AG, 2012. <i>„EQUITHERM SPART ENERGIE BEIM BIERBRAUEN - Hauptpreis-Gewinner des Bayerischen Energiepreises 2012“</i> , [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/betriebsintern/praxisbeispiele/details,257.html
GÄRUNG/LAGERUNG	Immobilisierte Hefefermentation zur Beschleunigung des Gärvorgangs	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. <i>„Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“</i> , [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. <i>„Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“</i> , [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Wärmerückgewinnung bei der Kühlung	Peter Sattler, 2000. <i>„BRANCHENKONZEPT ENERGIEKENNZAHLEN UND -SPARPOTENZIALE FÜR BRAUEREIEN“</i> , Eine Gemeinschaftsaktion von O.Ö. Energiesparverband, WIFI Ökoberatung und Wirtschaftskammer OÖ, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.win.steiermark.at/cms/dokumente/11263981_52485923/5311a767/Energiekennzahlen%20und%20Sparpotenziale%20in%20Brauereien.pdf
	Isolierung der Lagerhalle	Initiative Energieeffizienz Metropolregion Rhein-Neckar, 2016. <i>„Energieeffizienz: vom Umweltargument zum Erfolgsfaktor für Ihr Unternehmen“</i> , [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.m-r-n.com/fileadmin/PDF-Downloads/110321_energieeffizienz_mrn.pdf

Bereich	Maßnahmen	Quelle
GÄRUNG/LAGERUNG	Mikrofiltration für die Sterilisation	<p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „<i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p> <p>Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „<i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf</p>
	Entalkoholisierung mittels Dialyse	<p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „<i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p> <p>Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „<i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf</p>
	Wärmerückgewinnung bei der Pasteurisation	<p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „<i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p> <p>Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „<i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf</p>
	Wärmerückgewinnung aus dem Waschprozess mittels Rohrbündelwärmetauschern	<p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „<i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p> <p>Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „<i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf</p>
ABFÜLLUNG	Vorwärmen der Flaschen im Rekuperationsbad	<p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „<i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p> <p>Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „<i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i>“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf</p>

Bereich	Maßnahmen	Quelle
ABFÜLLUNG	Modernisierung der Flaschenwaschmaschinen durch Kaskadenvorwärmung und Dämmung	Peter Sattler, 2000. „BRANCHENKONZEPT ENERGIEKENNZAHLEN UND -SPARPOTENZIALE FÜR BRAUEREIEN“, Eine Gemeinschaftsaktion von O.Ö. Energiesparverband, WIFI Ökoberatung und Wirtschaftskammer OÖ, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.win.steiermark.at/cms/dokumente/11263981_52485923/5311a767/Energiekennzahlen%20und%20Sparpotenziale%20in%20Brauereien.pdf
	Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der KEG Reinigungsanlage	Brau Union Österreich AG Helmut Gahbauer, Harald Raidl, Andreas Werner, 2009. „Green Brewery - Null CO2 Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf
	Nutzung des Überwassers in der KEG Anlage zur Vorwärmung	Brau Union Österreich AG Helmut Gahbauer, Harald Raidl, Andreas Werner, 2009. „Green Brewery - Null CO2 Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf
	Optimierung der Knallgasabsaugung	Brau Union Österreich AG Helmut Gahbauer, Harald Raidl, Andreas Werner, 2009. „Green Brewery - Null CO2 Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf
INFRASTRUKTUR (Druckluftversorgung, Kessel und Dampfverteilung)	Druckluftsystemoptimierung (z.B. Zusammenführen von Netzen)	dena Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2015. „Steigerung der Energieeffizienz durch konsequente Optimierung des Druckluftsystems“, 2. Preis: Energy Efficiency Award 2007, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://industrieenergieeffizienz.de/fileadmin/referenzDB/files/Zweiter_Preistraeger__Energy_Efficiency_Award_2007_Paderborner.pdf
	Nutzung der Kompressorabwärme	VDMA, 2013. „Wärmerückgewinnung bei Druckluftanlagen“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://kdv.vdma.org/documents/105891/3247000/Infoblatt%20Waermerueckgewinnung.pdf/f61b3762-6960-464e-bc2c-21435c9b42fa CompAir Drucklufttechnik GmbH, 2015. „Ölfreie Druckluft für die Getränkeindustrie“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.pressebox.de/pressemitteilung/compair-drucklufttechnik-gmbh/Oelfreie-Druckluft-fuer-die-Getraenkeindustrie/boxid/756888
	Wärmerückspeisung aus Kessel-Entschlammung	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf

Bereich	Maßnahmen	Quelle
INFRASTRUKTUR (Druckluftversorgung, Kessel und Dampfverteilung)	Automatische Überwachung des Kondensatableiters	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Einsatz einer Kondensat-Rückspeisenanlage zur Energieeinsparung bei der Kesselreinigung	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
INFRASTRUKTUR (Motoren und motorennutzende Systeme, Kühlechnik)	Energetische Optimierung der Pumpensysteme	first energy-Die Energie Experten, 2016. „ <i>5 x 5 Effizienzkonzept - Jährlich fünf Prozent weniger Energieverbrauch!</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://first-energy.net/pdfs/5x5_EffizienzKonzept.pdf dena Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2007. <i>Initiative EnergieEffizienz, „Kosten senken: Energetische Optimierung von Pumpensystemen. Beispiel: Binding Henninger Brauerei“</i> , [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://wvdb.thema-energie.de/media/217/Datenblatt_Binding.pdf
	Bessere Abstimmung von Kühlleistung und Kühllast	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „ <i>Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „ <i>Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers</i> “, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf

Bereich	Maßnahmen	Quelle
INFRASTRUKTUR (Motoren und motorennutzende Systeme, Kältetechnik)	Abwärmenutzung mit der Absorbtionskältemaschine	<p>Peter Sattler, 2000. „BRANCHENKONZEPT ENERGIEKENNZAHLEN UND -SPARPOTENZIALE FÜR BRAUEREIEN“, Eine Gemeinschaftsaktion von O.Ö. Energiesparverband, WIFI Ökoberatung und Wirtschaftskammer OÖ, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.win.steiermark.at/cms/dokumente/11263981_52485923/5311a767/Energiekennzahlen%20und%20Sparpotenziale%20in%20Brauereien.pdf</p> <p>saena Sächsische Energieagentur GmbH, 2010. „Technologien der Abwärmenutzung“, [online] [Zugriff am: 01.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.saena.de/download/Broschueren/BU_Technologien_der_Abwaermenutzung.pdf</p> <p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p>
	Wärmerückgewinnung aus Kältemaschinen zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers	Brau Union Österreich AG Helmut Gahbauer, Harald Raidl, Andreas Werner, 2009. „Green Brewery - Null CO ₂ Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf
	Nutzung der mit dem Kühlwasser abgeführten Abwärme im Heizkreislauf	AEE INTEC, 2013. „Wärmerückgewinnungsanlage in der Ottakringer Brauerei“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://www.aee-intec.at/index.php?seitenName=projekteDetail&projekteld=179
	Nutzung der Kondensatorenabwärme zur Brauchwasservorwärmung	<p>Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf</p> <p>Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf</p>

Bereich	Maßnahmen	Quelle
INFRASTRUKTUR SONSTIGE MAßNAHMEN	Dämmung des Sudhausdachs	Wirtschaftskammer OÖ, Ökologischen Betriebsberatung, 2013. „Energiekennzahlen und Energiesparpotenziale in Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://wko.at/ooe/energie/Branchen/brauereien/brau-ges.htm
	Ausstattung der Dachrinnenheizung, falls vorhanden, mit Sensorsteuerung	Wirtschaftskammer OÖ, Ökologischen Betriebsberatung, 2013. „Energiekennzahlen und Energiesparpotenziale in Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://wko.at/ooe/energie/Branchen/brauereien/brau-ges.htm
NUTZUNG VON ENERGIE AUS ABFALLSTOFFE	Erzeugung von Biogas aus Trebern und anderen Abfallstoffen	Brau Union Österreich AG Helmut Gahbauer, Harald Raidl, Andreas Werner, 2009. „Green Brewery - Null CO ₂ Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energiekonzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf
	Nutzung einer Industriekläranlage mit Energie-rückgewinnung (Biogas)	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Betreiben eines BHKWs	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Betreiben eines BHKWs in Verbindung mit einer Absorptionskältemaschine	Canadian Industry Program for Energy Conservation Natural Resources Canada, 2011. „Guide to energy efficiency opportunities in the Canadian Brewing Industry“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/M144-238-2012-eng.pdf Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell, Bryan Lehman, 2003. „Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers“, [online] [Zugriff am: 22.03.2016]. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf
	Betreiben einer Biogasverbrennungsanlage	BLUE GLOBE REPORT, 2009. „Green Brewery - Null CO ₂ Emission in der Brauindustrie - Entwicklung einer methodischen Vorgangsweise für die Umsetzung innovativer Energie-konzepte in österreichischen Brauereien“, [online] [Zugriff am 06. Januar 2016]. Verfügbar unter: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Blue-Globe-Reports/Energieeffizienz/2008-2011/BGR12009KB07EZ1F44275EEFFGreen-Brewery.pdf