

Fachhochschule Osnabrück
University of Applied Sciences

Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik

**Analyse der Energie- und Ressourceneffizienzpotenziale in ausgewählten
Branchen der mittelständischen niedersächsischen Wirtschaft**

Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 27710 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Brandt

September 2010

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	27710	Referat	21	Fördersumme	26.685,00 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	--------------------

Antragstitel **Analyse der Energie- und Ressourceneffizienzpotenziale in ausgewählten Branchen der mittelständischen niedersächsischen Wirtschaft**

Stichworte Energie, Ressource

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
1 Jahr und 2 Monate	01.07.2009	30.08.2010	1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Fachhochschule Osnabrück	Tel	0541/969-2902
	Fakultät I&I	Fax	0541/969-12902
	FB Bioverfahrenstechnik	Projektleitung	
	Albrechtstr. 30	Frau. Prof. Dr. rer. nat. Hamann-Steinmeier	
49084 Osnabrück	Bearbeiter		Herr Brandt

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Die Energie- und Ressourceneffizienz sind wichtige Kenngrößen zur Beurteilung technischer Entwicklungen, Produkten und Verfahren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt. Die DBU hat bisher mehrere tausend Projekte zu den o. g. Kenngrößen gefördert und verfügt so über eine große Datenbasis. Diese erlaubt es, Aussagen zu vorhandenen Entlastungspotenzialen treffen zu können. Das Ziel dieses Vorhabens war es fundierte, summarische und quantifizierte Aussagen über erzielte Umweltentlastungen zu erhalten. Ferner sollt abgeschätzt werden, welche Multiplikationseffekte bei einer flächendeckenden Einführung der untersuchten Projektgegenstände möglich sind.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Vor der Ermittlung quantitativer Daten aus den Umsetzungsbeispielen der Umweltstiftung wurden zunächst geeignete Kenngrößen zur Auswertung herangezogen. Es wurden physikalische Parameter gewählt, anhand derer die Recherche erfolgen konnte. Zur Vergleichbarkeit der Projekte und zur summarischen Zusammenfassung der Ergebnisse wurden komplexe Kenngrößen ermittelt. Diese beschreiben die gesamten energetischen und materiellen Aufwendungen von Produkten und Dienstleistungen.

Im folgenden Arbeitsschritt erfolgte die Analyse der DBU-Mittelstandsprojekte. Die Recherche erfolgte auch vornehmlich in der DBU-Projektdatenbank. Es galt zunächst Projekttitel und Projektbeschreibungen in den Kennblättern nach Stichworten zu durchsuchen, um relevante Projekte zu separieren.

In einem weiteren Schritt wurden die ausführlichen Abschlussberichte analysiert. Aus diesen Quellen wurden die Ergebnisse der Projekte abgeleitet. Des Weiteren wurden die Entscheidungsvorlagen, welche seitens der Umweltstiftung auf Basis der Projektanträge erstellt werden, nach verwertbaren Daten durchsucht. Aus diesen Daten wurden weitestgehend die Ziele der jeweiligen Projekte abgeleitet.

In einem zweiten großen Arbeitspaket erfolgte die Erhebung ergänzender Informationen. Hier bestanden die Aufgaben darin, ungeklärte Sachverhalte durch den direkten Kontakt zu den Projektnehmern zu klären. Dieser Schritt erfolgte vornehmlich telefonisch oder per Email. Weiterhin wurden in diesem Paket auch Beispiele anderer Institutionen zur Auswertung herangezogen, vor allem durch Recherchen in anderen Datenbanken. Hier war die Vorgehensweise ähnlich wie bei der Analyse der Mittelstandsprojekte der DBU.

Neben der Analyse vorhandener Potenziale in der mittelständischen Wirtschaft, wurde recherchiert, welche Beratungsangebote bestehen. Außerdem wurden Informationsstellen zu Fördermöglichkeiten zusammengetragen und übersichtlich dargestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt konnten 41 Umsetzungsbeispiele bei der Umweltstiftung und 21 zusätzliche Projekte aus anderen Quellen zur Analyse vorhandener Potenziale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz ermittelt werden.

Im direkten unternehmerischen Umfeld der Projektnehmer konnten Einsparpotenziale von ca. 203.000 MWh/a Endenergie, 26.400 t/a Material und 1.474.000 t/a Wasser identifiziert werden. Dies entspricht einer Verringerung des Primärenergiebedarfs von 407.000 MWh/a sowie des gesamten Materialaufwandes von 472.000 t/a. Die resultierende Reduzierung des CO₂-Ausstoßes beläuft sich auf etwa 85.000 t/a.

Um die vorhandenen Potenziale bei einer flächendeckenden Einführung der untersuchten Ansätze zu beziffern, mussten die im direkten Umfeld ermittelten Daten zu den potenziell vorhandenen Einsparungen in geeigneter Art und Weise hochgerechnet werden.

Es wurden für alle Projekte die erzielten Einsparungen auf die jeweilige gesamte Produktionsmenge in Niedersachsen, Deutschland und global übertragen. So ergaben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Einsparpotenziale.

	Niedersachsen	Deutschland	global
KEA [MWh/a]	4.763.000	39.529.000	1.053.000.000
CO ₂ [t/a]	1.163.000	9.656.000	257.000.000
TMR [t/a]	5.335.000	44.276.000	1.180.000.000

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projektes wurden in Form einer Masterarbeit, die zum Thema verfasst wurde, in der Bibliothek der Hochschule Osnabrück veröffentlicht. Außerdem wurden das Projekt und die Ergebnisse im Arbeitskreis „Energie- und Ressourceneffizienz“ der 6. Regierungskommission der Niedersächsischen Landesregierung vorgestellt.

Fazit

In Summe konnten etwa 60 Projekte zur Quantifizierung vorhandener Einsparpotenziale herangezogen werden. Gemessen am gesamten Energieverbrauch und Materialeinsatz im verarbeitenden Gewerbe tragen die Ergebnisse dieser Analyse bei einer theoretischen flächendeckenden deutschlandweiten Einführung zu einer Verringerung der Ressourceninanspruchnahme durch Energie- und Materialaufwendungen von durchschnittlich etwa 1,8 Prozent bei. Die damit einhergehende Verringerung des CO₂-Ausstoßes beträgt ca. 1,7 % bezogen auf die direkten CO₂-Emissionen im Jahr 2007.

Die Reduzierung des Primärenergiebedarfs in Niedersachsen beläuft sich auf 4 % gemessen am gesamten Primärenergieverbrauch. Die Verringerung des CO₂-Ausstoßes liegt hier bei 3,7 % bezogen auf den primären CO₂-Ausstoß.

Die Ergebnisse zeigen, dass hier keine einheitliche Datenbasis vorliegt. Es konnten 60 Maßnahmen, welche schon qualitativ beschrieben wurden, mit quantitativen Aussagen zu Einsparpotenzialen bei Material und Energie belegt werden. Die Projektziele konnten dahingehend nicht erfüllt werden konnten, dass statistisch sichere Aussagen über vorhandene Potenziale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz gemacht werden können.

Es bleibt für die Zukunft die Aufgabe, die Vielzahl der bisher verfolgten Maßnahmen in übersichtlicher Weise zusammen zu tragen, um so einen Überblick über bereits erschöpfte Potenziale zu erlangen.

Kurzfassung

Die Energie- und Ressourceneffizienz sind wichtige Kenngrößen zur Beurteilung von technischen Entwicklungen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt.

Ziel dieser Arbeit war es, fundierte und quantitative Aussagen über die erzielten Umweltentlastungen in der mittelständischen Wirtschaft zu erhalten.

Hierzu wurden unter anderem Projekte der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zu den Themen Umwelttechnik und Umweltforschung umfassend analysiert.

In Summe konnten etwa 60 Projekte ermittelt werden. Es wurde so ein Einsparpotenzial von etwa 2 % beim Energie- und Materialaufwand, gemessen am Gesamtverbrauch des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland, identifiziert. Die daraus resultierende Verringerung des CO₂-Ausstoßes beträgt etwa 2 %. Es handelt sich hier um eine erste Schätzung, da die Anzahl von Stichproben zu gering ist, um daraus allgemeingültige Aussagen zu vorhandenen Potenzialen treffen zu können.

Es bleibt also auch für die Zukunft die Aufgabe, die Vielzahl der bisher verfolgten Maßnahmen in übersichtlicher Weise zusammen zu tragen, um so bessere Aussagen über die Erfolge weiterer Projekte schon im Vorfeld treffen zu können.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Zielsetzung	1
2	Vorgehensweise und Arbeitsschritte	2
3	Grundlagen	4
3.1	Bedeutung der Ressourceneffizienz	4
3.2	Ansatzpunkte zur Steigerung der Materialeffizienz	6
3.3	Hemmnisse bei der Umsetzung	8
3.4	Komplexe Kenngrößen zur Auswertung	9
3.4.1	Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS)	9
3.4.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	11
4	Ergebnisse	12
4.1	Ermittlung der komplexen Kenngrößen KEA und MIPS	12
4.2	Analyse der DBU-Mittelstandsprojekte	12
4.3	Ermittlung zusätzlicher Daten	19
4.4	Potenziale bei flächendeckender Einführung	21
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse in einer Datenbank	26
4.6	Zusammenfassung bestehender Beratungsangebote	28
4.7	Ableitung von Empfehlungen	29
5	Fazit und Ausblick	31
A	Anhang	33
A.1	Werte und Faktoren für KEA und MIPS	33
A.2	Übersicht der zur Analyse herangezogenen DBU-Projekte	39
A.3	Übersicht der Projekte der Efa-Nrw und des Pius-Netzwerkes	44
A.4	Zugrunde gelegte Bezugsgrößen für die Hochrechnung	45
	Literaturverzeichnis	47

Abbildungsverzeichnis

3.1	Kostenstruktur im verarbeitenden Gewerbe [Destatis 2010a]	5
4.1	Verteilung der Umsetzungsbeispiele nach Bundesländern	13
4.2	Verteilung der Einsparungen beim Energieeinsatz auf die verschiedenen Energieträger bei den Umsetzungsbeispielen der DBU	15
4.3	Anteile der verschiedenen Materialarten an der Gesamteinsparung der DBU-Projekte	17
4.4	Potenziale zu Einsparungen bei Energie, Wasser und Material in den Umsetzungsbeispielen der DBU	18
4.5	Potenziale zu Einsparungen bei Energie, Material und Wasser in den Umsetzungsbeispielen der Efa-NRW und dem PIUS-Netzwerk	21
4.6	Deutschlandweite Einsparpotenziale bei Energie, Material und Wasser ausgedrückt in KEA, TMR und Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes im Vergleich	22
4.7	Screenshot Datenbank	27

Tabellenverzeichnis

3.1	Gesamter direkter und indirekter Materialverbrauch im produzierenden Gewerbe nach Sektoren im Jahr 2000 [Irrek 2007]	6
3.2	Endenergieeinsparpotenziale und daraus resultierende Verminderung des CO ₂ -Ausstoßes [Irrek 2007]	7
3.3	Ansatzpunkte zur Steigerung der Materialeffizienz [Irrek 2007]	8
3.4	MIPS-Kategorien und die zugehörigen Inputs [Ritthoff 2002]	10
4.1	Einsparpotenziale bei Endenergie, Material und Wasser im direkten unternehmerischen Umfeld	14
4.2	Energieeinsparungen nach Energieträgern und daraus resultierende primäre Einsparungen an Energie, Materialaufwand sowie die resultierende Verringerung des CO ₂ -Ausstoßes in den Projekten der DBU	14
4.3	Direkte Material- und Wassereinsparungen und die daraus resultierenden Werte für KEA, CO ₂ und TMR bei den DBU-Projekten TMR	16
4.4	Übersicht der Einsparungen bei Energie, Material und Wasser sowie Summe aller Einsparungen gemessen in KEA, CO ₂ , und TMR	17
4.5	Energieeinsparungen nach Energieträgern und daraus resultierende primäre Einsparungen an Energie, Materialaufwand sowie CO ₂	19
4.6	Einsparungen bei Material und Wasser und die resultierenden Werte für KEA, CO ₂ und TMR	20
4.7	Übersicht der Einsparungen KEA, CO ₂ , TMR für Energie, Material und Wasser sowie Summe aller Einsparungen	20
4.8	Deutschlandweite Einsparpotenziale bei einer flächendeckenden Einführung der durchgeführten Maßnahmen	22
4.9	Übersicht der Produktionsmenge und der Werte der Produktion in Deutschland und in Niedersachsen	24
4.10	Übersicht deutschen und der globalen Produktionsmenge	25
4.11	Einsparpotenziale in Niedersachsen, Deutschland und globale Einsparpotenziale bezogen auf die Produktionsmengen bzw. die Werte der Produktion	25
A.1	KEA-Werte und KEA-Faktoren für verschiedene Energieträger	33
A.2	KEA-Werte für diverse Materialien und Stoffe Teil 1	34
A.3	KEA-Werte für diverse Materialien und Stoffe Teil 2	35

A.4	KEA-Werte für diverse Materialien und Stoffe Teil 3	36
A.5	Materialintensitäten für Energieträger	37
A.6	Materialintensitäten für verschiedene Materialien und Stoffe Teil 1	37
A.7	Materialintensitäten für verschiedene Materialien und Stoffe Teil 2	38
A.8	Übersicht der relevanten DBU-Projekte Teil 1	39
A.9	Übersicht der relevanten DBU-Projekte Teil 2	40
A.10	Übersicht der Projektziele zu Einsparungen bei Energie, Material und Wasser	41
A.11	Übersicht der Projektergebnisse zu Einsparungen bei Energie, Material und Wasser	42
A.12	Zur Beurteilung der Zielerreichung herangezogene Projekte der DBU	43
A.13	Übersicht der Umsetzungsbeispiele der Efa-Nrw und dem Pius-Netzwerk	44
A.14	Bezugsgrößen für die Hochrechnung, sofern nicht andere Quellen angege- ben sind, stammen die Werte aus den jeweiligen Entscheidungsvorlagen, Projektkennblättern oder Abschlussberichten der einzelnen Projekte Teil 1	45
A.15	Bezugsgrößen für die Hochrechnung, sofern nicht andere Quellen angege- ben sind, stammen die Werte aus den jeweiligen Entscheidungsvorlagen, Projektkennblättern oder Abschlussberichten der einzelnen Projekte Teil 2	46

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Die Schadstoffentfrachtung, Klimarelevanz sowie die Energie- und Ressourceneffizienz sind wichtige Kenngrößen zur Beurteilung der technischen Entwicklungen, Verfahren und Produkte hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt. Eine Vielzahl von Studien der letzten Jahre haben zu diesen Kenngrößen Aussagen getroffen. Die statistische Untermauerung dieser Aussagen ist in Ermangelung der Untersuchung einer ausreichend großen Anzahl von Stichproben, in Form von aussagekräftigen Beispielen, nicht gegeben.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) hat in den Jahren ihres Bestehens mehrere tausend Projekte zu den genannten Kenngrößen gefördert und verfügt so über eine beachtliche Datenbasis mit innovativen Kenntnissen zu den Themen Umwelttechnik und Umweltforschung. In einem früheren Projekt der Umweltstiftung wurde eine Datenbank erstellt, welche etwa 1000 Projekte mit einer sehr hohen Technologietransferattraktivität enthält.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, fundierte Aussagen über die erzielten Umweltentlastungen zu erhalten. Hierzu sollten Daten ermittelt werden, so dass zusammenfassende aber eben quantitative Aussagen darüber möglich werden, welche Beiträge zur Minderbelastung der Umwelt in der Wirtschaft erreicht werden können. Dabei sollte auch verglichen werden, welche Ziele die Projekte beinhalten, welche Ergebnisse direkt erreicht wurden und welche potenziellen Multiplikationseffekte sich bei einer flächendeckenden Einführung theoretisch ergaben. Zur Erreichung der Ziele war es erforderlich, geeignete Kenngrößen für die Auswertung zu wählen, um die Ergebnisse der Projekte besser vergleichen und beurteilen zu können. Als Modellbranche sollte zunächst die mittelständische metallverarbeitende Industrie in Niedersachsen ins Zentrum der Arbeiten gestellt werden.

2 Vorgehensweise und Arbeitsschritte

Bevor die Analyse der Mittelstandsprojekte der DBU erfolgt, werden zunächst einige Grundlagen erläutert, um so zum besseren Verständnis, zur Motivation und der Arbeit im Allgemeinen beizutragen. Hier wird beispielsweise die zunehmende Wichtigkeit zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz dargelegt.

Neben der Ermittlung quantitativer Daten aus den Umsetzungsbeispielen der Umweltstiftung galt es zuvor geeignete Kenngrößen zur Auswertung zu ermitteln. Es sollten physikalische Parameter gewählt werden, anhand derer die Suche erfolgen kann. Zur Vergleichbarkeit von Umsetzungsbeispielen und zur summarischen Zusammenfassung der Ergebnisse sollten komplexe Kenngrößen ermittelt werden, die die gesamten Aufwendungen von Produkten und Dienstleistungen beschreiben.

Als geeignete Kenngrößen wurden hier der **kumulierte Energieaufwand** (kurz KEA oder auch "graue Energie") nach der VDI-Richtlinie 4600 und der **Material Input pro Serviceinheit** (MIPS) gewählt. Der KEA beziffert den gesamten primärenergetischen Aufwand eines Produktes oder einer Dienstleistung, wohingegen der MIPS den gesamten Ressourcenaufwand eines Produktes oder Dienstleistung umfasst.

Im folgenden Arbeitsschritt erfolgte die Analyse bisher umgesetzter und auch aktueller DBU-Mittelstandsprojekte. Einerseits diente die zuvor genannte Datenbank als Grundlage zur Recherche. Andererseits erfolgte die Recherche in der DBU-Internen Datenbank sowie mit Hilfe der Suche auf der Homepage der DBU, in der Projektdatenbank und in der Google-Suche. Hier wurden bisher umgesetzte Projekte anhand der Projektkennblätter analysiert. Es galt zunächst Projekttitel und Projektbeschreibungen nach Stichworten zu durchsuchen, um relevante Projekte zu separieren.

In einem weiteren Schritt wurden dann die ausführlichen Abschlussberichte analysiert. Abschlussberichte zu älteren Projekten, welche nicht digital vorhanden waren, mussten zunächst eingesannt werden. Aus diesen Quellen wurden die Ergebnisse der Projekte abgeleitet.

Des Weiteren wurden die Entscheidungsvorlagen, welche seitens der Umweltstiftung auf Basis der Projektanträge erstellt wurden, nach verwertbaren Daten durchsucht. Aus diesen Daten wurden weitestgehend die Ziele der jeweiligen Projekte abgeleitet.

Zur übersichtlichen Darstellung und zur einfachen Auswertung nach gewünschten Kriterien sollte der Aufbau einer Datenbank erfolgen, welche eine geeignete Struktur zur Erfüllung

der soeben genannten Aufgaben besitzt.

In einem zweiten Arbeitspaket sollte die Erhebung ergänzender Informationen erfolgen. Hier bestanden die Aufgaben vor allem darin, ungeklärte Sachverhalte durch den direkten Kontakt zum jeweiligen Projektnehmer zu klären. Dieser Schritt erfolgte vornehmlich telefonisch oder per Email.

Weiterhin wurden in diesem Paket auch Beispiele anderer Institutionen zur Auswertung herangezogen, vor allem durch Recherche in anderen Datenbanken. Hier war die Vorgehensweise ähnlich wie bei der Analyse der Mittelstandsprojekte von der DBU.

So sollten die Ergebnisse zu vorhandenen Einsparpotenzialen bei Energie und Material des ersten Arbeitspaketes untermauert und ergänzt sowie eine statistische Sicherheit der Ergebnisse erhöht werden.

Neben der Analyse vorhandener Potenziale in der mittelständischen Wirtschaft wurde zudem recherchiert, welche Beratungsangebote bestehen. Außerdem wurden Informationsstellen zu Fördermöglichkeiten zusammengetragen und übersichtlich dargestellt.

3 Grundlagen

3.1 Bedeutung der Ressourceneffizienz

Der Begriff "Ressourcen" wird je nach Zusammenhang unterschiedlich definiert. Hier bezeichnet er die "natürlichen Ressourcen": Boden (mit allen mineralischen Rohstoffen, fossilen Energieträgern etc.), Wasser und Luft, einschließlich der Biosphäre. Unter dem Begriff Ressourceneffizienz, kann allgemein eine effizientere Ressourcennutzung basierend auf der Suche nach Möglichkeiten das gleiche Produktionsergebnis bzw. die gleiche Dienstleistung mit weniger Naturverbrauch (Ressourcen) zu erbringen, um so den Ressourcenverbrauch von der Wertschöpfung und dem Wohlstand einer Gesellschaft zu entkoppeln, verstanden werden. Dies betrifft den effizienten Einsatz von Materialien, Wasser und Energie ebenso wie die sparsame Nutzung von Flächen [NetzRe 2010].

Die Ressourceneffizienz setzt sich aus der Energie- und Materialeffizienz zusammen. Eine Energie- und Materialeinsparung geht mit der Steigerung der Ressourceneffizienz einher.

Die natürlichen Ressourcen, d.h. Energie, abiotische sowie biotische Materialien, Wasser und Fläche, werden immer noch zu einem sehr großen Teil ineffizient genutzt, wodurch es zu vermeidbaren negativen Umweltauswirkungen kommt. Oft sind mit einer ineffizienten Nutzung auch gefährliche, die Gesundheit gefährdende und, vor allem in Schwellenländern und Ländern der dritten Welt, ausbeutende Arbeitsbedingungen verbunden.

Aber auch die Rohstoffpreise sind ein triftiger Grund, um die Effizienz bei der Energienutzung und beim Materialeinsatz weiter zu steigern. So stiegen die Rohstoffpreise von 2004 bis 2008 um ein vielfaches. Trotz eines Einbruchs der Preise im Zuge der Wirtschaftskrise im Jahr 2008, ist weiterhin mit einem steigenden Trend bei der Preisentwicklung zu rechnen. Daher muss eine zukunftsfähige Wirtschaft vor allem ressourceneffizient ausgerichtet sein.

Dies trifft ganz besonders die deutsche Wirtschaft, welche hochgradig vom Import strategisch wichtiger Rohstoffe abhängig ist. So besteht vor allem bei Metallrohstoffen und sehr vielen bedeutenden Mineralien eine nahezu vollständige Importabhängigkeit. Steigende Preise mit gleichzeitig steigender Nachfrage auf dem Weltmarkt und einer Verknappung der Rohstoffvorkommen stellen daher einen nicht zu vernachlässigenden Risikofaktor für die deutsche Wirtschaft dar.

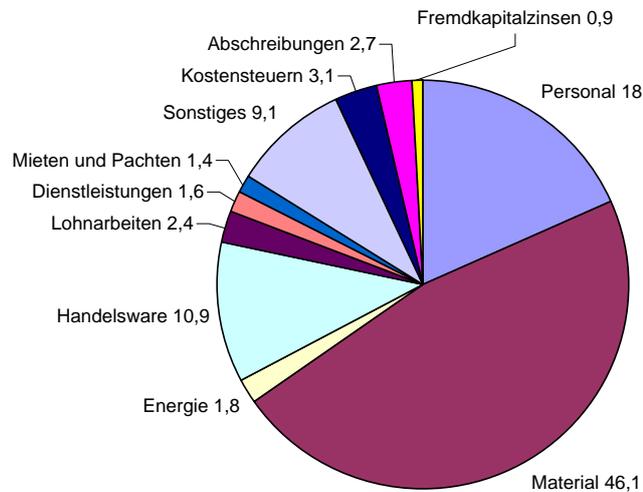


Abb. 3.1: Kostenstruktur im verarbeitenden Gewerbe [Destatis 2010a]

Ferner zeigt die Kostenstruktur im verarbeitenden Gewerbe in Abbildung 3.1, dass über 40 % aller Kosten auf die Materialkosten entfallen, auf Energiekosten 1,8 %.

Da sich aus den monetären Aufwendungen nicht direkt auf die physischen Aufwendungen, wie den Materialeinsatz oder Energieverbrauch schließen lässt, sollen im Folgenden noch ein paar Fakten aufgeführt werden.

Der gesamte Primärenergieverbrauch im verarbeitenden Gewerbe wird für das Jahr 2000 mit 1,644 Mio. GWh und das Jahr 2008 mit 1,659 Mio. GWh angegeben [Destatis 2010b]. Die direkten CO₂-Emissionen betragen im Vergleich dazu im Jahr 2000 557 Mio Tonnen und im Jahr 2007 575 Mio. Tonnen [Destatis 2010c].

Der gesamte Materialaufwand, der direkte und indirekte Ressourcenverbrauch (Total material requirement, kurz TMR), betrug im Jahr 2000 5289 Mio. Tonnen für das produzierende Gewerbe [Acosta 2007].

Um einen Überblick über die Verteilung der Materialaufwendungen zu erlangen, sind in Tabelle 3.1 die zwölf Sektoren des produzierenden Gewerbes mit dem größten Materialverbrauch, deren Anteil am TMR etwa 75 % beträgt, aufgelistet.

Werden die Sektoren des verarbeitenden Gewerbes betrachtet, zu denen alle Industriebetriebe die Rohstoffe und Zwischenprodukte weiterverarbeiten und dabei auch Endprodukte erzeugen gehören, beträgt der gesamte Ressourcenverbrauch im verarbeitenden Gewerbe 3732 Mio. Tonnen pro Jahr. Zum Wirtschaftsbereich der verarbeitenden Industrie zählt das Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe, das Investitionsgüter produzierende Gewerbe, das Verbrauchsgüter produzierende Gewerbe sowie das Nahrungs- und

Tab. 3.1: Gesamter direkter und indirekter Materialverbrauch im produzierenden Gewerbe nach Sektoren im Jahr 2000 [Irrek 2007]

Produktionsbereich	Direkter und indirekter Ressourcenverbrauch	
	[Mio. t]	Anteil [%]
Baugewerbe	964	18
Metalle und Halbzeuge daraus	465	9
Nahrungs- und Futtermittel, Getränke	459	9
Energie	405	8
Kraftwagen und Teile dafür	335	6
Chemische Erzeugnisse	269	5
Maschinen	211	4
Kohle, Torf	188	4
Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	183	3
Mineralölerzeugnisse	157	3
Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden	157	3
Steine, Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	130	3
restliche Produktionssektoren	1360	26
gesamt	5289	100

Genussmittelgewerbe. Demnach sind das Baugewerbe sowie die Energieerzeugung und Gewinnung von Kohle und Torf hier nicht zu berücksichtigen.

3.2 Ansatzpunkte zur Steigerung der Materialeffizienz

In Tabelle 3.2 ist ein Überblick über die ökonomischen Einsparpotenziale in ausgewählten Branchen gegeben. Hier ist zu beachten, dass die erzielbaren Kosteneinsparungen nur auf die Erhöhung der Effizienz zurückzuführen sind. Zusatznutzen durch eine höhere Qualität infolge der Effizienzsteigerung im Produktionsprozess, sowie eine einhergehende Transportkosteneinsparung sind hier nicht berücksichtigt. Diese positiven Zusatzeffekte können jedoch beträchtliche Dimensionen annehmen, und die gleiche Höhe wie die gemiedenen Materialkosten annehmen [Faulstich 2009].

Tab. 3.2: Endenergieeinsparpotenziale und daraus resultierende Verminderung des CO₂-Ausstoßes [Irrek 2007]

Anwendung/Bereich	CO ₂ -Reduktionspotenzial [1000 t/a]	Einsparpotenzial el. Energie netto [TWh/a]	Einsparung Brennstoffe netto [TWh/a]
Pumpen	13460	21	-
Prozesswärme	40291	17	98
Prozesskälte	1287	2	-
Druckluft	1608	2	-
Wärmerückgewinnung	1508	0	7
Beleuchtung	9057	14	-
Stand by Verluste	2403	4	-
Kühlen/Tiefkühlen	2528	4	-
gesamt	72142	64	105

Um vorhandene Potenziale zur Materialeinsparung freizusetzen, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten. Hier kann eine Unterteilung in vier Gruppen vorgenommen werden [Faulstich 2009]:

1. Veränderung des Produktdesigns
2. Optimierung von Produktionsabläufen
3. Verwendung moderner, Ressourcen schonender Rohstoffe
4. Optimierung von Recyclingprozessen

In Tabelle 3.3 sind einige vielversprechende Ansätze aufgeführt, die sich an die vier o.g. Gruppen anlehnen. So sind in bestimmten Bereichen höhere Einsparpotenziale bei Material sowie Ressourcen möglich als in anderen.

Oft geht mit einer Materialeinsparung auch eine Energieeinsparung einher und umgekehrt. Es sind aber auch Zielkonflikte möglich, z.B. ein steigender Kupferverbrauch für energieeffizientere Transformatoren [Irrek 2007].

Energie- und Ressourceneffizienzsteigerungen sind in vielen Bereichen möglich. Es zeigte sich aber auch, dass die Potenziale noch nicht ausgeschöpft sind, obwohl Maßnahmen zur Steigerung bekannt sind und der größte Teil der Potenziale wirtschaftlich umgesetzt werden könnte.

Quantitative Aussagen sind höchstens durch einzelne Umsetzungsbeispiele gegeben. So sind die Studien nicht ausreichend mit Fallbeispielen belegt, so dass die Anzahl

Tab. 3.3: Ansatzpunkte zur Steigerung der Materialeffizienz [Irrek 2007]

Ansatzpunkte	Potenzial
Rohstoffauswahl	+++
Werkstoffauswahl, neue Werkstoffe und Werkstoffgerechte Konstruktion	++
Recycling und Langlebigkeit	+
Kaskadennutzung	+
Produktion und Fertigung	++
Produktgestaltung	+++
F&E/ Wissenstransfer	+++

+++ stark positiver Effekt ++ positiver Effekt + leicht positiver Effekt

von Stichproben zu gering ist, so dass bisherige Aussagen zur Umweltentlastung und Kosteneinsparungen nicht genau beziffert werden können.

3.3 Hemmnisse bei der Umsetzung

Das Thema Energie- und Materialeffizienz ist ein wichtiger Ansatzpunkt, um Kosten zu senken und die damit verbundenen Vorteile zu nutzen.

Informationen zu Technologien und innovative Lösungen zur Umsetzung der vorhandenen Potenziale sollten allen kleinen und mittelständischen Unternehmen (kurz KMU) verfügbar gemacht werden. Hier sollten die Gesamtkosten über die Laufzeit betrachtet werden, da neue, effizientere Technologien auf den ersten Blick teuer erscheinen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass oft nur Anschaffungskosten, jedoch nicht die Gesamtkosten über die gesamte Nutzungsdauer betrachtet werden.

Gerade in kleinen und mittelständischen Unternehmen sind Hemmnisse zu finden, effiziente Technologien einzuführen. Oft fehlt es an Personal, da sich vor allem aufs Kerngeschäft konzentriert wird, oder aber an Know-how (bedingt durch den Mangel an qualifiziertem Personal). Hier ist es besonders wichtig, diesen Unternehmen eine gute Beratung zur Verfügung zu stellen.

Erste Schritte wurden bereits auf staatlicher Seite unternommen, wie Programme der Demea, welche sich gerade an kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) wenden (mehr zu Beratungsangeboten und Förderung in Abschnitt 4.6).

3.4 Komplexe Kenngrößen zur Auswertung

Neben dem CO₂-Ausstoss, welcher als Indikator zur Verringerung der Treibhausbelastung gewählt wurde, wurden hier der kumulierter Energieaufwand und der Material Input pro Serviceeinheit (MIPS) als Parameter zur möglichen Verringerung der Umweltbelastung genutzt.

3.4.1 Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS)

[Ritthoff 2002]

Der Material-Input pro Serviceeinheit, kurz MIPS, bzw. der ökologische Rucksack stellen ein Maß zur Abschätzung der Umweltbelastung durch ein Produkt dar. Während beim MIPS sämtliche zur Herstellung eines Produktes oder zur Bereitstellung einer Dienstleistung erforderlichen Energie und Rohstoffströme erfasst werden, wird beim ökologischen Rucksack nur die Menge an Ressourcen erfasst.

Im MIPS Konzept werden die Material-Inputs in fünf Kategorien unterteilt:

- abiotische Rohstoffe
- biotische Rohstoffe
- Bodenbewegung
- Wasser
- Luft

Die Inputs, welche den jeweiligen Kategorien zugeordnet sind, sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Für die Beurteilung der Einsparpotenziale und den Vergleich der Projekte reicht es jedoch aus, den Materialinput (MI) anzugeben. Dieser Wert liefert den nötigen Input zur Herstellung einer Tonne Produkt (bzw. zur Bereitstellung einer MWh nutzbarer Endenergie). Dieser auf die reine Gewichtseinheit bezogene Materialinput wird auch als Materialintensität bezeichnet. Materialintensitäten für Energieträger und Strom werden dann in der Einheit t/MWh angegeben [Ritthoff 2002].

Auf eine Zusammenfassung der detaillierten Werte wird auf Grund der Unterschiedlichkeit der Kategorien und den damit zusammenhängenden Problemen bei der Gewichtung im Allgemeinen verzichtet.

Zur einfacheren Darstellung der Ergebnisse können jedoch abiotisches Material, biotisches Material und Bodenbewegungen in der Land- und Forstwirtschaft als Total Material Requirement (TMR) zusammengefasst werden. Der TMR beziffert den gesamten direkten und indirekten Ressourcenbedarf eines Produktes oder einer Dienstleistung [Acosta 2007].

Tab. 3.4: MIPS-Kategorien und die zugehörigen Inputs [Ritthoff 2002]

Kategorie	Inputs
abiotisches Material	<ul style="list-style-type: none"> • mineralische Rohstoffe, wie Erze, Sand, Kies usw. • fossile Energieträger, wie Kohle, Erdöl, Erdgas • bewegte Erde, wie Aushub von Erde
biotisches Material	<ul style="list-style-type: none"> • pflanzliche Biomasse aus Bewirtschaftung • Biomasse aus nicht bewirtschafteten Bereichen, wie Pflanzen, Tiere
Wasser*	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenwasser • Grundwasser • Tiefengrundwasser
Luft	<ul style="list-style-type: none"> • Verbrennung • Chemische Umwandlung • Physikalische Veränderung
Bodenbewegung	<ul style="list-style-type: none"> • mechanische Bodenbearbeitung • Erosion

*Kühl- und Prozesswasser

3.4.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

[VDI 1995]

Der KEA, der kumulierte Energieaufwand (nach VDI-Richtlinie 4600), oft auch als „graue Energie“ bezeichnet, beziffert den indirekten Energiebedarf eines Konsumgutes während seiner Herstellung und dessen Lebenszyklus. Ausgenommen hiervon ist die benötigte Energie zur Nutzung der Güter (direkter Energiebedarf). Der spezifische Energiebedarf ist ein wichtiger Kennwert zur Beurteilung der energetischen Güte von Energieerzeugungssowie Bereitstellungsprozessen. Im Laufe der Zeit hat sich das Bemühen den verdeckten oder auch grauen Energieverbrauch, wie z.B. bei der Herstellung und dem Transport einer Tafel Schokolade, zu identifizieren immer mehr verstärkt. Im Zuge der Technikbewertung wurde es üblich, Produkte und Dienstleistungen hinsichtlich ihres Energie- und Stoffaufwandes sowie deren Emissionen hin zu analysieren und zu quantifizieren. So werden Aussagen über deren Ressourcenbelastung und der damit verbundenen Umweltbelastung möglich.

Der kumulierte Energieaufwand ermöglicht eine direkte Beurteilung und den Vergleich von Produkten und Dienstleistungen. Die quantifizierbaren Daten des KEA bilden eine wichtige Basis, die Energieeinsparpotenziale in ihrem komplexen Zusammenhang, zwischen Konstruktion, Herstellung, Nutzung und Entsorgung, aufzuzeigen.

Eine sehr wichtige Grundlage zur Berechnung des kumulierten Energieaufwandes ist die eindeutige Festlegung von Bilanzgrenzen. Dabei stellt die systematische Abgrenzung wegen der sehr großen Komplexität und Vielfalt der Einzelprozesse, häufig ein zentrales Problem der energetischen Analyse dar.

4 Ergebnisse

4.1 Ermittlung der komplexen Kenngrößen KEA und MIPS

Die recherchierten Umrechnungsfaktoren für den Primärenergieaufwand bzw. kumulierten Energieaufwand sowie für die Materialintensitäten sind in den Tabellen A.1 bis A.6 im Anhang zu finden.

Weiterhin sind hier auch die Emissionswerte (CO₂-Ausstoß) für die verschiedenen Energieträger und Materialarten zu finden.

Ein weiteres nützliches Tool, welches zur Umrechnung von verschiedenen Energieeinheiten dient, ist der Energieeinheitenumrechner. Dieser wurde von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. erstellt und ist auf der Homepage (<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=67>) zu finden.

4.2 Analyse der DBU-Mittelstandsprojekte

Nach der ersten Auswertung wurden zunächst 198 Projekte zur weiteren Analyse selektiert. Hier wurden alle vorhandenen Datenquellen zur Selektion herangezogen. Es wurde zunächst nach Aktualität der Projekte separiert; so wurden z.B. grundsätzlich nur Projekte aufgenommen, deren Abschluss nicht länger als 10 Jahre zurückliegt.

Die Projekte, die sich mit der Verringerung des Einsatzes von Kühlschmierstoffen (KSS) befassen, wurden ausgeschlossen. Dies liegt darin begründet, dass viele Anstrengungen hinsichtlich der Verringerung des KSS-Einsatzes bereits Stand der Technik sind. Ausserdem wurden viele Ansätze zur Trockenbearbeitung oder Minimalmengenschmierung verworfen. Der Ansatz, Kühlschmierstoffe aus nativen Rohstoffen herzustellen wurde auf Grund technischer Probleme und der mangelhaften Qualität der Rohstoffe nicht weiter verfolgt [Holtmann 2010][Bock 2010].

Im nächsten Schritt wurde der direkte Kontakt zu den jeweiligen Projektnehmern der verbleibenden Umsetzungsbeispiele gesucht, um offene Fragen aus den Kennblättern oder Abschlussberichten beantworten zu können. In der Regel erfolgte der Kontakt telefonisch.

Bei länger zurückliegenden Projekten waren häufig Projektleiter und/oder Mitarbeiter nicht mehr in den Unternehmen tätig. Oder es wurden die betreffenden Abteilungen

verkauft und/oder ausgelagert, so dass die Informationsbeschaffung aufgrund des mangels an Ansprechpartnern sehr schwierig war. Während dieses Arbeitsschrittes wurde sich die Anzahl der einst 198 Projekte weiter dezimiert. Vielfach war dieser Umstand auf eine ungenügende Marktfähigkeit der Projektgegenstände zurückzuführen, da es sich oft um Spezialanwendungen handelte, welche nur noch beim Projektnehmer selber Anwendung finden [Fischer 2010][Ekman 2010][John 2010]. Einige Verfahren hatten sich in der Praxis nicht durchgesetzt, da es wie schon bei den KSS erwähnt, zu Problemen während des Betriebs kam [DBU 14030][Biströn 2010][Fuchs 2010].

Auf diesem Weg konnten insgesamt 41 Projekte (Tabellen A.8 und A.9 im Anhang) mit einem Fördervolumen von 8.610.815 € ermittelt werden, die eine quantitative Beurteilung vorhandener Potenziale zur Energie- und Materialeinsparung und so zur Verminderung der Umweltbelastung erlaubten. In Abbildung 4.1 ist die Verteilung der Umsetzungsbeispiele auf die Bundesländer dargestellt.

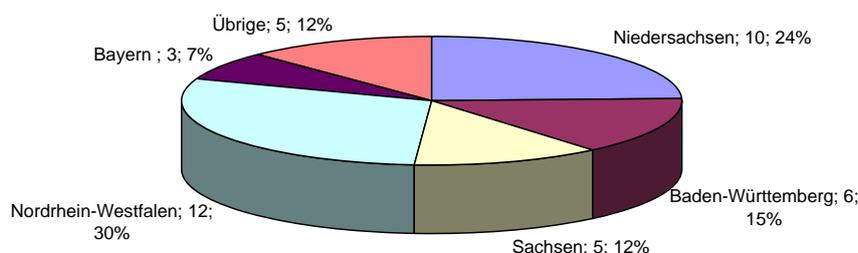


Abb. 4.1: Verteilung der Umsetzungsbeispiele nach Bundesländern

Die jeweiligen Projektziele und die erreichten Ergebnisse sind in den Tabellen A.10 und A.11 im Anhang aufgeführt. Hier sind die absoluten Werte, sowie die relative Auswirkung auf den Zustand vor Projektbeginn gegeben, sofern diese Daten vorhanden waren.

In Tabelle 4.1 sind noch einmal die Einsparpotenziale, die sich aus den Zielen und Ergebnissen ergeben aufgeführt. Hier sind die Summe, der Mittelwert der relativen Einsparung, sowie die Einsparpotenziale im Mittel pro Unternehmen resp. Projektnehmer aufgeführt. Die Werte ergeben sich aus der Betrachtung der jeweils höheren Zahlenwerte bei den Zielen bzw. Ergebnissen der einzelnen Projekte.

Tab. 4.1: Einsparpotenziale bei Endenergie, Material und Wasser im direkten unternehmerischen Umfeld

	Summe aller Einsparungen	Einsparungen [%]	Mittelwert der Einsparungen
Endenergie [MWh/a]	174.317,14	42	5.740,68
Material [t/a]	24.986,00	67	1.315,05
Wasser [t/a]	1.219.603,80	79	121.960,38

Die quantitative Zielerreichung lag im Schnitt bei etwa 92 %. Zu beachten ist hier, dass nicht für alle Projekte die Zielerreichung ermittelt werden konnte, da entweder keine Angaben zu Zielen vorlagen oder betrachtete Projekte noch nicht abgeschlossen sind bzw. sich gerade in der Abschlussphase befinden, so dass noch keine Ergebnisse vorlagen. Insgesamt konnten zur Beurteilung der Zielerreichung 24 Projekte herangezogen werden, die in Tabelle A.12 im Gang dargestellt sind.

In Tabelle 4.2 sind die einzelnen erzielten Einsparungen nach den verschiedenen Energieträgern aufgeführt. Ferner sind hier auch die entsprechenden Primärenergieaufwendungen sowie der damit verbundene CO₂-Ausstoß und der direkte und indirekte Materialaufwand aufgeführt.

Tab. 4.2: Energieeinsparungen nach Energieträgern und daraus resultierende primäre Einsparungen an Energie, Materialaufwand sowie die resultierende Verringerung des CO₂-Ausstoßes in den Projekten der DBU

	Endenergie [MWh/a]	Primärenergieaufwand [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
Primärenergie	-	37.804	6.874	121.763 ¹
el. Energie	6.742	19.147	4.247	31.687
Erdgas	59.326	67.038	12.558	72.378
Heizöl	1.340	1.487	392	1.822
Prozesswärme	69.501	91.046	22.405	125.797
gesamt	174.317	216.128	46.477	353.448

¹Annahme 50% el. Energie und 50 % Prozesswärme-Mix

Die Energieeinsparungen verteilen sich wie in Abbildung 4.2 dargestellt auf die verschiedenen Energieträger. Es ist zu erkennen, dass der größte Teil der Einsparungen auf die Verringerung des Prozesswärmebedarfs entfällt. Der Prozesswärmebedarf wird durch den

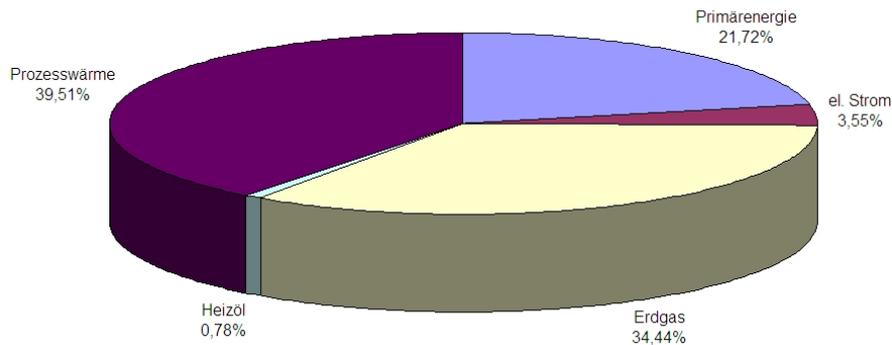


Abb. 4.2: Verteilung der Einsparungen beim Energieeinsatz auf die verschiedenen Energieträger bei den Umsetzungsbeispielen der DBU

Prozesswärmemix für Deutschland angegeben, der sich wie folgt zusammensetzt [Gemis 4.5]:

- 4,2 % Braunkohle
- 21,3 % Steinkohle
- 7,5 % leichtes Heizöl
- 9,2 % schweres Heizöl
- 57,8 % Erdgas

Teilweise wurden in den Unterlagen zu den verschiedenen Projekten direkt die Primärenergieeinsparungen angegeben, ohne dass Angaben zur genutzten Endenergieart gemacht wurden. Da aber in den meisten Fällen die direkte Verminderung des CO₂-Ausstoßes beziffert wurde, lässt sich vermuten, dass auch hier der Großteil der Energieaufwendungen auf Wärmeerzeugung mittels Erdgas bzw. Prozesswärmemix und die Nutzung von Elektrizität zurückzuführen ist. Zur Berechnung des Ressourcenverbrauchs für den Energieeinsatz wurde angenommen, dass etwa 50 % Elektrizität und 50 % Prozesswärme genutzt wurden.

Die aus den erzielten Einsparungen bei Material und Wasser resultierenden Werte für den Primärenergieaufwand, dem totalen Materialaufwand und die damit verbundene Reduzierung des CO₂-Ausstoß sind in Tabelle 4.3 aufgeführt.

Tab. 4.3: Direkte Material- und Wassereinsparungen und die daraus resultierenden Werte für KEA, CO₂ und TMR bei den DBU-Projekten TMR

Art	absolute direkte Einsparung [t/a]	KEA [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
Edelstahl	240,00	3199,20	1332,00	14,43
Nickel	3,34	145,02	35,24	471,91
Chrom	6,66	215,25	47,65	190,48
Aluminium sek.	457,17	2624,16	548,38	388,59
Salzsäure	10690,3	51420,34	12614,55	32391,61
Salpetersäure	5,57	8,97	1,38	5,85
Schwefelsäure	425,00	242,25	51,00	106,25
Form- und Kernsande (Quarzsand)	373,00	26,11	4,85	529,66
Abrasivmittel (Granatsand)	2000,00	140,00	26,00	2840,00
Ton	6600,00	210,54	56,50	-
Zink	52,00	997,36	251,37	1131,52
Härtensalz (KCl)	5,70	1,34	0,27	32,43
Methanol	14,22	170,80	7,24	23,75
Stickstoff (g)	86,40	28,43	5,70	16,42
Gummi (Rohkautschuk)	4000,00	87560,00	12792,00	22800,00
Eisen	26,66	174,36	42,66	187,95
Wasser	1219603,80	1949,04	365,45	12818,53
Summe	1244589,80	149113,16	28182,22	73312,37

Die Verteilung der einzelnen Materialarten ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Die größte Einsparung wurde hier bei der Reduzierung des Salzsäurebedarfs in der Metall-Branche erzielt.

In Tabelle 4.4 sind noch einmal alle resultierenden Einsparungen an Primärenergie, Material sowie Wasser und die Summe aller drei Kategorien zusammengefasst.

In Abbildung 4.4 sind die resultierenden Einsparungen grafisch dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass der größte Teil der identifizierten Potenziale zur Steigerung der

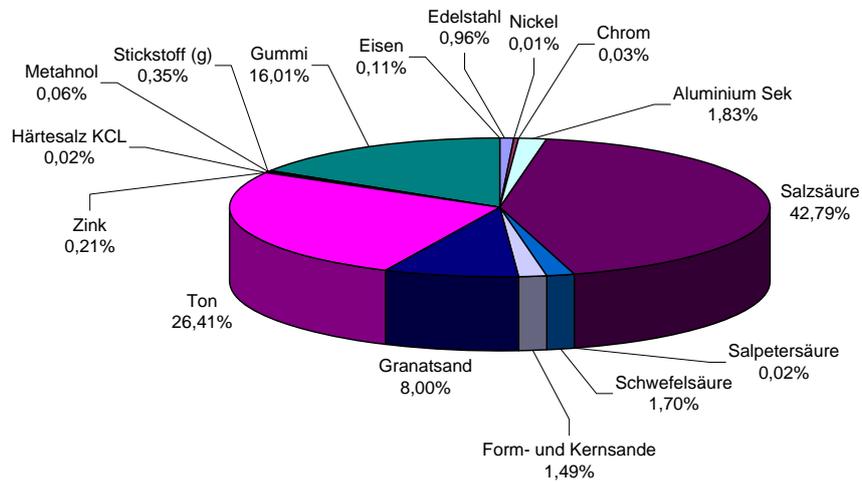


Abb. 4.3: Anteile der verschiedenen Materialarten an der Gesamteinsparung der DBU-Projekte

Tab. 4.4: Übersicht der Einsparungen bei Energie, Material und Wasser sowie Summe aller Einsparungen gemessen in KEA, CO₂, und TMR

	KEA [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
Endenergie	212.421	45.329	347.853
Material	147.164	27.817	61.131
Wasser	1.949	365	12.182
gesamt	361.534	73.511	421.166

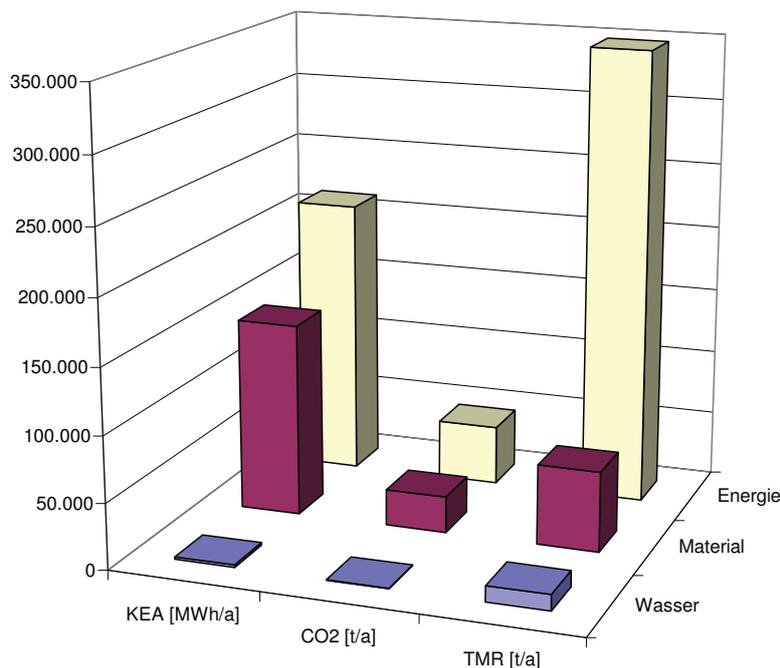


Abb. 4.4: Potenziale zu Einsparungen bei Energie, Wasser und Material in den Umsetzungsbeispielen der DBU

Energie- und Ressourceneffizienz auf die Verringerung des Energiebedarfs in verschiedenen Branchen zurückzuführen ist.

Es konnte eine Endenergieeinsparung von 174.317 MWh pro Jahr sowie eine Einsparung an Material und Wasser in Höhe von 1.243.139 t pro Jahr ermittelt werden, wobei mengenmäßig das Wasser den größten Teil ausmacht.

Bezogen auf die 41 Projekte, betrug die Reduzierung des Endenergiebedarfs etwa 4.252 MWh und des direkten Material- sowie Wasserbedarfs etwa 30.320 t.

Die resultierende Einsparung CO₂ ergibt sich aus der Summe der Einsparungen von Energie, Material sowie Wasser. Insgesamt konnte eine Reduktion des jährlichen CO₂-Ausstosses um ca. 73.511 t erzielt werden. Gemessen an der Gesamtfördersumme, ergibt sich so ein Preis von 117 € pro Tonne CO₂. Die aufgewendeten Fördermittel zur Identifizierung von Einsparpotenzialen beim direkten und indirekten Ressourcenaufwand liegen bei 24 €/t und für den primären Energieaufwand bei 20 €/t. Berücksichtigt sind hier nur Reduzierungen, die sich direkt aus den Energie- und Materialeinsparungen ergeben.

Kosten für Maßnahmen, welche den Ausstoß giftiger, umweltgefährlicher oder stark wassergefährdender Substanzen verringern, können so nicht beziffert werden. Hier muss weiter

differenziert werden, welche tatsächlichen Aufwendungen nötig sind. Weiterhin kann es hier zu Zielkonflikten kommen, wenn z.B. ein hochgiftiger Stoff durch einen unbedenklichen Stoff substituiert wird. So ist es möglich, dass der CO₂-Ausstoß durch einen höheren energetischen und materiellen Aufwand größer ist, aber die Umweltgefährdung stark reduziert wurde. Ähnlich ist die Situation bei Maßnahmen, welche die Arbeitsplatzbedingungen verbessern, z.B. durch Verringerung von Staubemissionen durch Absauganlagen. Trotz der Effizienzsteigerungen der Vergangenheit sorgen diese Anlagen nun für einen höheren Energieverbrauch.

4.3 Ermittlung zusätzlicher Daten

Bei der Recherche von Umsetzungsbeispielen zu o.g. Kriterien bei anderen Institutionen konnten noch einmal 21 Projekte zusammengetragen werden. Bei diesen handelt es sich vor allem um Umsetzungsbeispiele der Effizienz-Agentur in Nordrhein-Westfalen (Efa-Nrw) und Beispielen des Pius-Netzwerkes, welche sich mit Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Materialeffizienz auseinandersetzen (Die Tabelle A.13 mit den Projekten ist im Anhang zu finden).

Durch verschiedene Maßnahmen konnten hier direkte Einsparpotenziale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von insgesamt 28.323 MWh bei Endenergie, 1.399 t beim Material und 254.389 t beim Wasser identifiziert werden (4.5 und 4.6). Da hier für Waschmittel, Natronbleichlauge und Wasserstoffperoxid keine Werte für den KEA, den TMR sowie den CO₂-Ausstoß ermittelt werden konnten, sind diese bei der Bestimmung der Multiplikationseffektivität bei einer flächendeckenden Einführung nicht weiter berücksichtigt worden. Die Übersicht aller hier erzielten Einsparungen ist in Tabelle 4.7

Tab. 4.5: Energieeinsparungen nach Energieträgern und daraus resultierende primäre Einsparungen an Energie, Materialaufwand sowie CO₂

	Endenergie [MWh/a]	Primärenergieauf- wand [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
el. Strom	61	174	39	289
Erdgas	27.967	31.602	5.921	34.120
Heizöl	295	327	86	401
gesamt	28.323	32.104	6.045	34.809

Tab. 4.6: Einsparungen bei Material und Wasser und die resultierenden Werte für KEA, CO₂ und TMR

	absolute direkte Einsparung [t/a]	KEA [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
Edelstahl	1.000	13.330	5.500	14.430
Natronlauge	131	275	58	363
Kalk	43	56	46	139
Bier	111	137	30	-
Salzsäure	48	229	56	145
Schwefelsäure	13	7,4	1,6	14
Wasser	254.389	407	76	2.544
Summe	255.787	14.591	5.786	17.664

Tab. 4.7: Übersicht der Einsparungen KEA, CO₂, TMR für Energie, Material und Wasser sowie Summe aller Einsparungen

	KEA [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
Energie	32.104	6045	34.809
Material	1.398	14184	5.712
Wasser	407	76	2.544
gesamt	45.276	11.599	51.135

Wie in Abbildung 4.5 zu erkennen, sind die erzielten Werte der Einsparungen entsprechend den Ergebnissen der Analyse der DBU-Umsetzungsbeispiele. Auch hier ist der Anteil der identifizierten Potenziale bei Energieeinsparungen am höchsten.

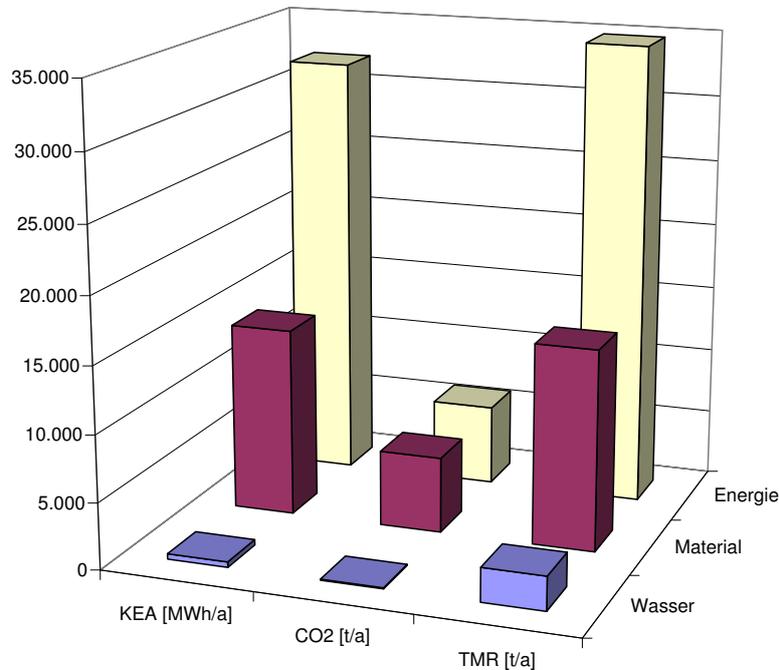


Abb. 4.5: Potenziale zu Einsparungen bei Energie, Material und Wasser in den Umsetzungsbeispielen der Efa-NRW und dem PIUS-Netzwerk

4.4 Potenziale bei flächendeckender Einführung

Um die vorhandenen Potenziale bei einer flächendeckenden Einführung der untersuchten Ansätze zu beziffern, mussten die im direkten Umfeld ermittelten Daten zu den potenziell vorhandenen Einsparungen in geeigneter Art und Weise hochgerechnet werden.

Es wurden für alle Projekte die erzielten Einsparungen auf die gesamte Produktion in Deutschland übertragen. Bei der Hochrechnung wurde eine 100-prozentige Marktpenetration angenommen, soweit diese nicht von vorn herein durch beschränkende Umstände anders anzusetzen war, z. B. ist die Erwärmung von Schmiedegut, da zu 50 % auf Induktion und 50 % Gasfeuerung ausgerichtet. Die zu Grunde gelegten Produktionsmengen und Annahmen zur Hochrechnung sind in Tabelle A.14 und A.15 im Anhang zusammengefasst.

In Tabelle 4.8 sind die Ergebnisse der Hochrechnung auf das Potenzial bei einer flächendeckenden Einführung dargestellt. In Abbildung 4.6 sind die Potenziale noch einmal grafisch dargestellt. In Summe wurden in den rund 60 analysierten Umsetzungsbeispielen der Umweltstiftung, der Effizienzagentur Nordrhein-Westfalen und des PIUS-Netzwerkes Potenziale zu Einsparungen in Höhe von etwa 2,4 % beim Primärenergiebedarf und 1,19 % beim Materialaufwand identifiziert.

Tab. 4.8: Deutschlandweite Einsparpotenziale bei einer flächendeckenden Einführung der durchgeführten Maßnahmen

	KEA [MWh/a]	CO ₂ [t/a]	TMR [t/a]
Energie	24.327.535	5.352.028	34.026.821
Material	14.988.807	4.263.215	8.906.394
Wasser	212.448	40.275	1.365.176
gesamt	39.528.790	9.655.518	44.275.851

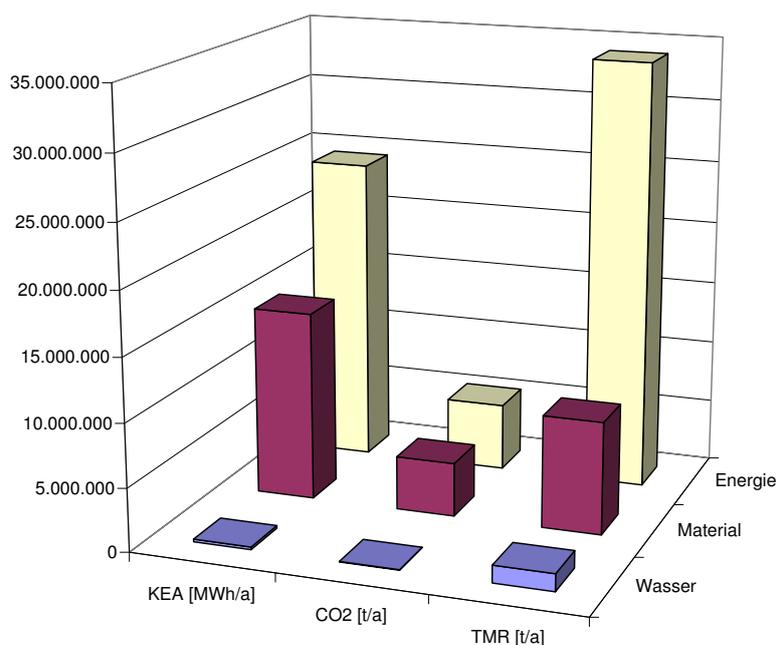


Abb. 4.6: Deutschlandweite Einsparpotenziale bei Energie, Material und Wasser ausgedrückt in KEA, TMR und Reduktion des CO₂-Austoßes im Vergleich

Um die vorhandenen Einsparpotenziale in Niedersachsen beziffern zu können, wurden die Daten zur Produktion in Deutschland und Niedersachsen gegenüber gestellt. Dies geschah

vornehmlich anhand der Produktionsmengen der in den Projekten genannten Halbzeuge oder Endprodukte. Waren keine Angaben zur Produktionsmenge vorhanden, wurden die Werte der Produktion herangezogen. Der so ermittelte Faktor zur Abschätzung des Potenzials in Niedersachsen basiert auf insgesamt 27 Wertepaaren.

In Tabelle 4.9 sind die Projekte mit der jeweiligen zugrunde gelegten Gesamtproduktion in Deutschland sowie der Produktion in Niedersachsen dargestellt. Die Daten für die Produktion in Niedersachsen wurden alle dem Statistischen Bericht für das verarbeitende Gewerbe 2008 entnommen [LSKN 2009] .

Insgesamt konnte so ein Potenzial von etwa 12 % des gesamten Einsparpotenzials in Deutschland beziffert werden.

Bei der Abschätzung des globalen Potenzials zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz wurden die absoluten Produktionsmengen herangezogen (Tabelle 4.10). Hierzu wurde, soweit nicht anders angegeben, weitestgehend die Industrial Commodity Statistics Database der United Nations Statistics Division genutzt [UN 2010].

Ein vorhandenes Einsparpotenzial konnte beziffert werden, welches etwa das 26-fache des gesamtdeutschen Einsparpotenzials beträgt. Hier konnten zur Abschätzung 20 Wertepaare herangezogen werden.

In Tabelle 4.11 sind die Einsparpotenziale in Niedersachsen, Deutschland und global noch einmal zusammengefasst.

Tab. 4.9: Übersicht der Produktionsmenge und der Werte der Produktion in Deutschland und in Niedersachsen

AZ	Produktionsmenge in Deutschland [kt/a]	Wert der Produktion Deutschland [1.000 Euro]	Wert der Produktion Deutschland [1.000 Euro]	Wert der Produktion Niedersachsen [1000 Euro]	Anteil der Produktionsmenge Niedersachsen an Produktionsmenge gesamt Deutschland	Anteil des Produktionswertes Niedersachsen an Produktionswert gesamt Deutschland
12943	2.700	9.141.715	503.808	860.026	18,66 %	9,41 %
14292	2.700	9.141.715	503.808	860.026	18,66 %	9,41 %
14684	5.400	3.000.000		214.000		7,13 %
14916		1.170.000		29.956		2,56 %
15533	4.516		111.975	200.999	2,48 %	
15558	11.852	1.998.000		247.070		12,37 %
16248		333.787		87.798		26,30 %
16299	56	397.207		3.855		0,97 %
18024	136	685.116	13.879	105	10,21 %	
18349	11.000		528.432	364.401	4,80 %	
20370	11.000		528.432	361.401	4,80 %	
20785	91		5.887		6,47 %	
22197	414	2.238.080	26.750	138.794	6,46 %	6,20 %
23096	18.279	3.076.259	1.961.311		10,73 %	
23738	1.400	136.642				
24644	572	5.076.158				
24675	33.400	1.933.950	2.172.483		6,50 %	
26521	1.500	386.000		28.804		7,46 %
27351	7.700	459.000		73.935		16,11 %
Efa 14	29.405*		2.206*		7,50 %	
Efa 15	2.001	8.381.890	572.678	2.207.653	28,62 %	26,34 %
Efa 17		4.500.000		661.589		14,70 %
Efa 18	11.000		528.432	361.401	4,80 %	
Efa 19	2.001	8.381.890	572.678	2.207.653	28,62 %	26,34 %
	*[Stück]		*[Stück]	Mittelwert:	11,38 %	12,72 %

Tab. 4.10: Übersicht deutschen und der globalen Produktionsmenge

AZ	Produktions- menge in Deutschland [1000 t/a]	Produktions- menge global [1000 t/a]		Faktor der globalen Produktion bezogen auf deutsche Produktion
12943	2.700	20.490	[Euroforge 2010b]	7,59
14292	2.700	20.490	[Euroforge 2010b]	7,59
14684	5.400	149.266		27,64
15558	11.852	257.075		21,69
16299	56	137		2,45
18024	136	2.650		19,49
18349	11.000	113.179		10,29
20370	11.000	113.179		10,29
22577	224	1.181		5,27
23096	18.279	1.190.000	[WV-Stahl 2010]	65,10
24675	33.400	2.032.301		60,85
25933	20	95		4,75
26521	1.500	32.354	[Zink 2010]	21,57
26568	1.888	446.330		236,40
26766	1.805	7.175		3,98
Efa 4	224	1.181		5,27
Efa 11	1.500	32.354		21,57
Efa 14	29.405*	228.184*		7,76
Efa 15	2.001	9.858		4,93
Efa 18	11.000	113.179		10,29
Efa 19	2.001	9.858		4,93
		*[Stück]	Mittelwert:	26,65

Tab. 4.11: Einsparpotenziale in Niedersachsen, Deutschland und globale Einsparpotenziale bezogen auf die Produktionsmengen bzw. die Werte der Produktion

	Niedersachsen	Deutschland	global
KEA [MWh/a]	4.763.219	39.528.790	1.053.442.249
CO ₂ [t/a]	1.163.490	9.655.518	257.319.546
TMR [t/a]	5.335.240	44.275.851	1.179.951.423

4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse in einer Datenbank

Um die zusammengetragenen Ergebnisse möglichst übersichtlich darzustellen und nach bestimmten Stichworten, wie der Branche oder Art des eingesparten Materials, durchsuchen zu können, wurde eine Datenbank entwickelt. Diese basiert auf der Java-Plattform und bietet neben einer benutzerfreundlichen Oberfläche auch den Vorteil, Plattform unabhängig zu sein.

Weitere Vorteile bestehen in der Möglichkeit, ganze Tabellen durch Import aus Excel einzulesen. Weiterhin hat der Nutzer die Möglichkeit, gewünschte Auszüge, oder auch den gesamten Datenbestand nach Excel zu exportieren.

In Abbildung 4.7 ist ein Screenshot der Benutzeroberfläche dargestellt.

Leider konnten die Arbeiten an der Datenbank aufgrund von Verzögerungen beim Programmieren nicht vollständig abgeschlossen werden. Grundsätzlich ist die Datenbank jedoch funktionsfähig.

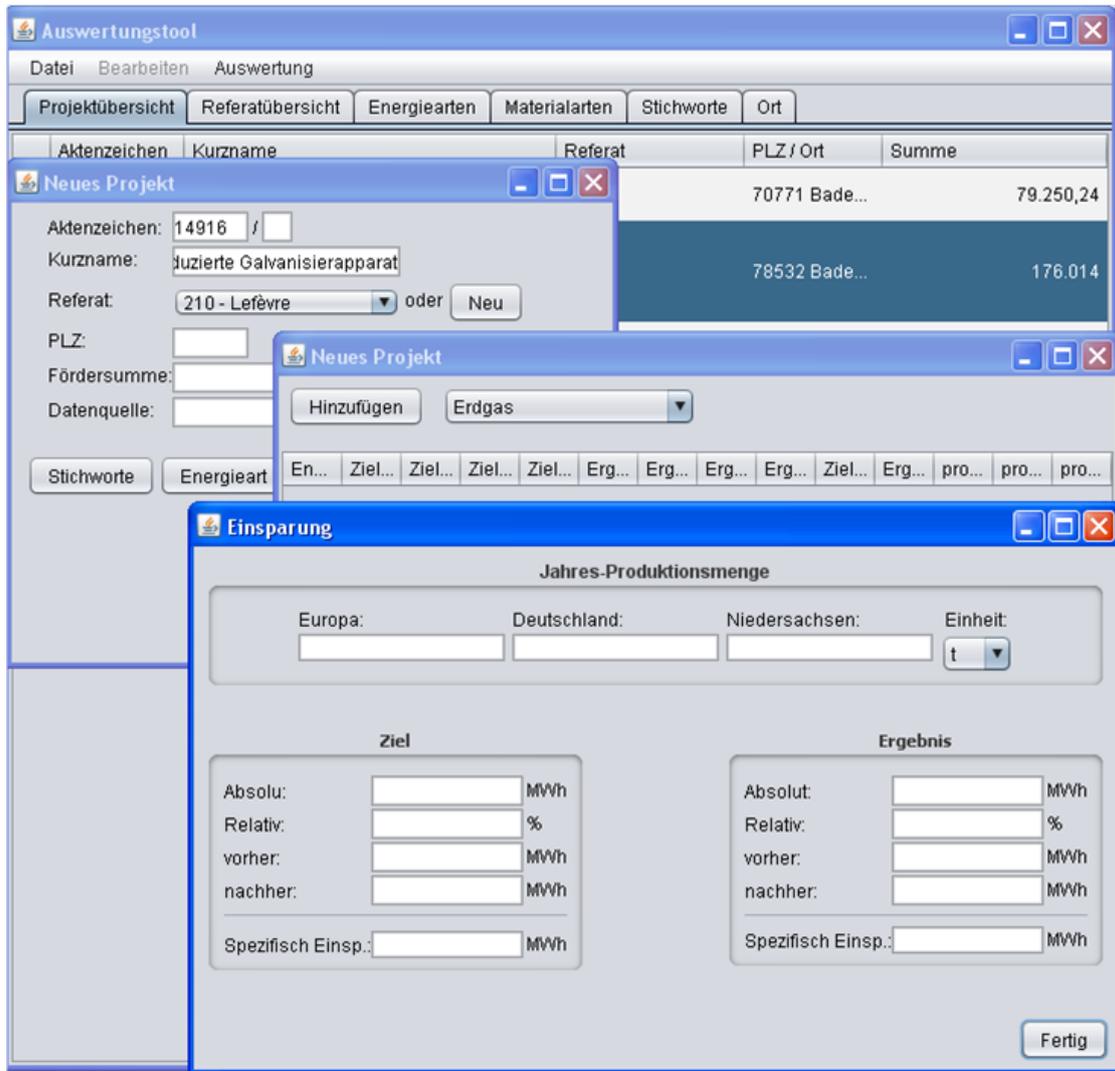


Abb. 4.7: Screenshot Datenbank

4.6 Zusammenfassung bestehender Beratungsangebote

Bisher gibt es unterschiedliche Angebote zur Beratung und Förderung der Energie- und Ressourceneffizienz sowie der Materialeffizienz im Mittelstand, die grundsätzlich in drei Kategorien eingeteilt werden können:

1. finanzielle Unterstützung und Förderung sowie Förderberatung
2. Beratung und Beraternetzwerke
3. Unternehmensnetzwerke bzw. Kompetenznetze

Zu den häufigsten Angeboten gehört die Bereitstellung von Netzwerken, in denen Unternehmen Wissen und Erfahrungen zum Thema austauschen können.

Ein weiteres Instrument ist die Hilfe bei der Suche nach externen Beratern. Die Deutsche Energieeffizienzagentur (Demea) bietet z.B. einen Pool von akkreditierten Beratern. Potenzialanalysen sowie weiterführende Vertiefungsanalysen durch diese Berater werden finanziell unterstützt. Behilflich bei der Suche nach Beratern und bei der Antragstellung sind zudem die HWKs und IHKs vor Ort.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, Investitionen in Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz durch zinsgünstige Darlehen von der N-Bank bzw. der KfW (ERP) zu fördern oder durch Zuschüsse attraktiver zu machen.

Außerdem werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Ressourceneffizienz durch Forschungsprogramme, allen voran durch die Bundesregierung unterstützt. Hier sind zum einen das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und zum anderen KMU-Innovativ vom BMBF zu nennen [Faulstich 2009].

Es gibt ebenfalls die Möglichkeit der Beratung und Hilfe vor Ort durch Handwerkskammern, Industrie und Handelskammern und regionalen Organisationen und Verbände (wie Innungen usw.) in Anspruch zu nehmen. Hier werden zum einen Informationen zu den oben genannten Programmen sowie Hilfe bei der Antragstellung gegeben. Ebenfalls werden rechtliche sowie fachspezifische Beratungen in den jeweiligen Handwerksrichtungen angeboten.

Eine Vielzahl von Angeboten überschneiden bzw. ergänzen sich. Lokale Ansprechpartner können Angebote vermitteln, welche vom Bund oder bundesweit agierenden Institutionen bereitgestellt werden.

Die Ausführliche Beschreibung der einzelnen Angebote zur Beratung und Förderung ist in einem Wiki zusammengetragen worden, welches unter der folgenden Adresse zu finden ist:

<http://sebrandt.bplaced.net/mediawiki-1.15.2/index.php?title=Hauptseite>

Hier sind auch weiterführende Links zu den einzelnen Angeboten zur Beratung und zu Fördermöglichkeiten zu finden.

4.7 Ableitung von Empfehlungen

Die vorhandenen Daten sollten einheitlich dargestellt sein, so dass Multiplikationseffekte einfacher abgeleitet werden können. Einsparungen sollten spezifisch, d.h. auf den Output bzw. die Produktion bezogen, dargestellt werden. Dies setzt voraus, dass Daten zur Produktion vorhanden sind.

Unterstützen könnte die Erhebung der Daten in zukünftigen Projekten ein Fragebogen bzw. Datenerhebungsbogen. In Tabellenform fasst dieser den aktuellen Ist-Zustand, die Projektziele und die möglichen Einsparungen auf einen Blick zusammen. So könnten verschiedene Maßnahmen beurteilt und unterschiedliche Ansätze zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz verglichen werden.

Allgemein gültige Technologieempfehlungen sollten hier nicht ausgesprochen werden. Es wurden aber einige vielversprechende Ansätze aufgegriffen, die im Folgenden kurz erläutert werden:

Die Abwärmenutzung ist ein zentrales Thema in der Industrie, da in vielen Prozessen Rohmaterialien und Halbzeuge immer wieder erwärmt und abgekühlt werden müssen. In der Vergangenheit wurden viele Ansätze ergriffen, um die oft nutzlos in die Umwelt abgeleitete Abwärme nutzbar zu machen. Exemplarisch sei hier die Abwärmenutzung zu Heizzwecken genannt, oder zur Vorwärmung von Rohmaterial in einer Schmiede.

Ein Problem ist es, dass die entstehende Abwärme nicht immer sinnvoll genutzt werden kann. Oft entsteht Abwärme an Orten oder auch zu Zeiten, an denen sie aus logistischen Gründen nicht wirtschaftlich nutzbar gemacht werden kann. Heute werden vor allem einfache Arten von Wärmetauschern, wie Rekuperatoren, eingesetzt, um die in der Abwärme enthaltene Energie nutzbar zu machen. Ein Nachteil ist, dass die Energie der Abwärme nicht gespeichert und bei Bedarf wieder abgerufen werden kann. Eine neue Entwicklung ist hier der Einsatz von so genannten Regeneratoren, die es erlauben, Abwärmeenergie auch über einen längeren Zeitraum zu speichern und die Energie so zu einem späteren Zeitpunkt wieder verfügbar zu machen. Damit ist eine wesentlich umfangreichere Abwärmenutzung möglich als bisher. Durch Einsatz thermischer Regeneratoren mit keramischen Wärmespeicherelementen zur Abgaswärme-Rückgewinnung lassen sich wesentlich höhere Vorwärmtemperaturen der Brennluft erreichen als mit den bisher an Schmiedeöfen eingesetzten Rekuperatoren.

Ein anderer Ansatz die Energie beim Erwärmen von Metallen effizienter zu nutzen sind Induktionsheizer, die vielfach an Strangpressen in der NE-Metallindustrie eingesetzt werden.

Hier hat eine Entwicklung von induktiven Erwärnern nach dem Hochtemperatursupraleiter-Prinzip ein sehr hohes Marktpotenzial. Es konnte der Wirkungsgrad der Erwärmung von NE-Metallen signifikant gesteigert werden, im Vergleich zu konventionellen Anlagen von oft unter 60 % auf über 80 %. Ein weiterer Nutzen ergibt sich dadurch, dass die Durchwärmung des Materials verbessert wurde, wodurch dieses nicht so stark erhitzt werden muss, was zu einer weiteren Energieeinsparung führt. Zusätzlich werden Zunderverluste minimiert, wodurch Material eingespart wird, bei durchschnittlich 5 % Zunderverlust ein beachtliches Einsparpotenzial.

Ein weiterer vielversprechender Ansatz zur Minimierung des Energiebedarfs im Bereich der Werkzeugmaschinen ist die intelligente Regelung von Abluftströmen der in fast allen Maschinen vorhandenen Absauganlagen. In der Regel werden immer noch mit großen Volumenströmen permanent große Mengen an Luft abgesaugt, auch wenn die Maschinen gar nicht bei Vollast laufen. Hier können Einsparungen zwischen 40 % und 50 % erzielt werden.

5 Fazit und Ausblick

Insgesamt konnten anhand von etwa 60 Umsetzungsbeispielen der Bundesstiftung Umwelt, der Energieeffizienzagentur Nordrhein-Westfalen und des PIUS-Netzwerkes Einsparpotenziale im Sektor des verarbeitenden Gewerbes identifiziert werden. Beim Primärenergiebedarf betragen diese 39.259.000 MWh im Jahr sowie bei der Verringerung der Ressourceninanspruchnahme 44.276.000 Tonnen pro Jahr. Gemessen am gesamten Energieverbrauch und Materialeinsatz im verarbeitenden Gewerbe tragen die Ergebnisse dieser Analyse bei einer theoretischen flächendeckenden Einführung zu einer Verringerung der Ressourceninanspruchnahme durch Energie- und Materialaufwendungen von durchschnittlich etwa 2 Prozent bei. Hierbei beruht die Vielzahl der identifizierten Potenziale auf Energieeinsparungen. Die damit einhergehende Verringerung des CO₂-Ausstoßes beträgt in Summe 9.656.000 Tonnen pro Jahr, was einer Reduzierung von ca. 2 % bezogen auf die direkten CO₂-Emissionen im Jahr 2007 entspricht.

Eine weitere Erkenntnis der vorliegenden Arbeit ist, dass auch mit den Ergebnissen keine einheitliche Datenbasis vorliegt. So können allgemein gültige Aussagen zur sicheren Abschätzung von Einsparpotenzialen, die zur Beurteilung und vor allem zum Vergleich verschiedener Ansätze zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz führen, nicht gemacht werden.

Es konnten auf der einen Seite im Ergebnis 60 Maßnahmen, welche schon qualitativ beschrieben wurden, mit quantitativen Aussagen zu Einsparpotenzialen bei Material und Energie belegt werden. Die Projektziele konnten nicht erfüllt werden, statistisch sichere Aussagen über vorhandenen Potenziale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz zu machen.

Im Laufe des Projektes zeigte sich, dass die Einrichtung einer einheitlichen Datenbank auf Basis der Transferdatenbank nicht möglich ist, da die Daten zu den Projekten zu uneinheitlich dargestellt wurden. Es zeigte sich, dass die Aussagekraft nicht allein anhand der Anzahl der Projekte in der Transferdatenbank festgemacht werden konnte.

Im Einzelnen waren wenige Umsetzungsbeispiele zu verschiedenen Ansatzpunkten vorhanden, so dass nur von einer Abschätzung über vorhandene Potenziale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz ausgegangen werden kann. Dies wird dadurch bestärkt, dass nur 4 % der Projekte, dies sind 41 von 993 als zunächst relevant eingestufte Projekte, mit quantitativen und nachvollziehbaren Daten belegt werden konnten.

Es bleibt also auch für die Zukunft die Aufgabe, die Vielzahl der bisher verfolgten Maßnahmen in übersichtlicher Weise zusammen zu tragen. Nur so kann ein Überblick über bereits erschöpfte Potenziale erlangt und für die Zukunft neue Vorhaben noch besser beurteilt werden. So könnten schon im Vorfeld Technologieempfehlungen getroffen werden. Ferner würden die Fördermittel noch effektiver genutzt werden, um weitere Beiträge zur Verminderung der Umweltbelastung zu erlangen.

A Anhang

A.1 Werte und Faktoren für KEA und MIPS

[Gemis 4.5][FFE 1999] [Patel 1999] [Laner 2006] [Johnson 2007][FF 2008][Wu 2010]

Tab. A.1: KEA-Werte und KEA-Faktoren für verschiedene Energieträger

Energieart	KEA-Faktor [Mwhprim/ Mwhend]	CO2 [kg/MWh]
Prozesswärme Mix 2010	1,31	321,37
Mittelwert Elektrizität	2,84	630,00

	Heizwert [MWh/m ³]	KEA-Wert* [MWh/m ³]	KEA-Faktor [Mwhprim/MWhend]	CO2 [kg/MWh]
Erdgas	0,010	0,011	1,13	211,680
	Heizwert [MWh/kg]	KEA-Wert* [MWh/kg]	KEA-Faktor [Mwhprim/MWhend]	CO2 [kg/MWh]
Braunkohle	0,002	0,003	1,03	424,800
Steinkohle MIX	0,008	0,009	1,07	335,988
Heizöl leicht (EL)	0,012	0,013	1,11	292,860
Heizöl schwer	0,011	0,012	1,09	318,420
Diesel	0,012	0,013	1,12	291,708
Superbenzin	0,012	0,014	1,17	328,608

* Summe aus Bereitstellung und Verbrennung

** Wert CO2 aus Gemis

	Arbeitsvermögen [kWh/m ³]	KEA [kWh/m ³]	KEA-Faktor [Mwhprim/MWhend]	CO2 [kg/MWh]
Druckluft	0,0438	0,4452	10,16	2173

*Annahme 7.5 bar, 20 °C, isentrope Verdichtung, 100 % Wirkungsgrad

Tab. A.2: KEA-Werte für diverse Materialien und Stoffe Teil 1

KEA-Werte für Materialien	KEA [MWh/t]	CO2 [kg/t]
Roheisen 2010	6,54	1600
Stahl-mix 2010	5,40	1355,0
Stahlblech 2005	7,57	1794,0
Edelstahl V2A 50/50	13,33	5500,0
Eisengussteil	5,15	1802,5
Stabstahl 50/50 leicht/mittel	7,73	2263,5
Formstahl (grober Stabstahl)	6,45	1980,0
Stahlrohr nahtlos	7,69	2255,0
Warmbreitband oxygenstahl	6,21	1935,0
Warmbreitband Rohstahlmix	5,50	1658,0
Feinblech unbeschichtet	7,52	2247,0
Feinblech feuerverzinkt	8,02	2334,0
Weißblech elektrolyt. verchromt	8,15	2404,0
Weißblech elektrolytisch verzinkt	8,32	2440,0
Stahlblech verzinkt 2010	9,48	2337,0
Aluminium Primär	53,09	11973,0
Aluminium Sekundär	5,74	1197,5
Aluminium-Blech	47,20	9715,0
Aluminium-Folie	48,06	9900,0
Aluminium-Profil Strangpresse	46,89	9641,0
Aluminium-Rohr längsgeschweißt	48,16	9815,0
Kupfer Mix 2010	13,33	3702,0
Kupfer Primär	15,82	4143,5
Kupfer Sekundär	12,18	1639,5
Kupferblech 0.5 mm	13,70	2778,0
Kupferprofil	13,76	2799,0
Kupferrohr schräggewalzt	13,31	2706,0
Kupferrohr stranggepresst	14,81	3005,0
Kupfer-Draht d 0.06mm	16,05	3286,0
Kupfer-Draht d 0.6mm	12,97	3655,0
Chrom	32,32	7154,0
Nickel	43,42	10552,0
Nickel aus Abfall bei Kupfer	19,35	5538,0
Zink	11,34	2388,0
Zinn	18,72	4627,0
Zink	19,18	4834,0

Tab. A.3: KEA-Werte für diverse Materialien und Stoffe Teil 2

KEA-Werte für Materialien	KEA [MWh/t]	CO2 [kg/t]
Trinkwasser	0,0016	0,3
Abwasser	0,0015	0,3
Flusssäure	0,00	0,0
Flussspat	0,42	99,3
Essigsäure	22,14	2290,0
Essigsäure	11,14	1850,0
Schwefelsäure	0,57	120,0
Salpetersäure	1,61	248,0
Phosphorsäure	7,99	2783,0
NaOH 50% Mix	2,09	440,5
Salzsäure	4,81	1180,0
Sauerstoff O2	0,33	68,1
Bier	1,24	274,7
Polyethylenterephthalat	16,50	2070,0
Polyurethan	20,97	3050,0
Polyamid 6	34,08	6130,0
Polyamid 6.6	45,28	8570,0
Bausand, Kies	0,01	3,0
Quarzsand	0,07	13,0
Feldspat	0,34	90,0
Ton	0,03	8,6
Basalt, Brechsand	0,07	17,0
Kalkhydrat (Löschkalk)	0,99	804,0
Branntkalk Feinkalk	1,30	1059,0
Flachglas	3,96	1155,0
REA-Gips Rohstoff	0,01	2,0
Putzgips ab Werk	0,30	87,0
Gipskartonplatte	0,96	155,0
Portlandzement	1,19	893,0
Hochofenzement	0,46	233,0
Mauerziegel LHZ	0,69	292,0
Klinker (Vormauerziegel)	0,87	175,0
Dachziegel Ton	1,16	282,0
Kalksandstein	0,27	128,0
Gasbetonstein	1,01	471,0
Porentonmauerstein	1,10	363,0

Tab. A.4: KEA-Werte für diverse Materialien und Stoffe Teil 3

KEA-Werte für Materialien	KEA [MWh/t]	CO2 [kg/t]
Schnittholz frei Betrieb	2,00	52,0
technisch getrocknetes Holz	2,51	209,0
Spanplatte ab Werk	4,11	372,0
Sperrholzplatte	6,45	1180,0
Ammoniumnitrat	3,31	622,9
Ammoniak 90 % Erdgas	9,62	1990,9
Aceton	16,03	1900,0
Acrylsäure	12,14	1670,0
Acrylnitril	18,72	2120,0
Benzol Mittelwert	17,15	1268,0
Ethanol	16,11	1990,0
Ethylen Naphta	16,78	710,0
Ethylenglycol	12,06	1670,0
Propylenglycol	18,59	2100,0
Methanol BASF	11,22	1170,0
Styrol	18,53	1570,0
Styrol	17,69	2652,0
Polyethylen Granulat	18,61	1539,0
Polypropylen Granulat	18,20	1571,0
PVC-Granulat	14,90	2276,0
PVC	14,78	2080,0
ABS-Granulat	21,14	3051,0
Polystyrol General Purpose	19,12	2932,0
HIPS	19,25	2856,0
Styrol-Butadien-Kautschuk	21,89	3198,0
EPDM	26,24	3063,0
PU-Hartschaum	27,21	5553,0
PU-Weichschaum	26,12	4854,0
Epoxidharz	39,12	6770,0
Epoxidharz	29,75	4680,0
Harnstoffharz	13,97	2260,0
Melaminharz	22,19	4130,0
Phenol-Formaldehyd-Harz	16,67	1760,0
Polycarbonat	22,31	3110,0

Tab. A.5: Materialintensitäten für Energieträger

Materialintensitäten [t/MWh]	abiotisch	biotisch	Wasser	Luft	bewegter
Energie und Brennstoffe					
Prozesswärme Mix 2010*	1,810				
Mittelwert Elektrizität	4,700		83,100	0,600	
Erdgas	1,220		0,500	0,002	
Braunkohle	9,680		9,200	0,023	
Steinkohle MIX	2,110		9,100	0,500	
Heizöl leicht (EL)	1,360		9,400	0,019	
Heizöl schwer	1,500		11,400	0,033	
Diesel	1,360		9,700	0,019	

*Zusammensetzung nach KEA Prozesswärme MIX Industrie 2000

Tab. A.6: Materialintensitäten für verschiedene Materialien und Stoffe Teil 1

Materialintensitäten [t/t]	abiotisch	biotisch	Wasser	Luft	bewegter Boden
Eisen	7,050				
Stahl-mix 2010	5,250		51,500	0,950	
Edelstahl V2A 50/50	14,430		205,100	2,825	
Warmbreitband oxygenstahl	7,630		56,000	0,414	
Aluminium Primär	37,000		1047,700	10,870	
Aluminium Sekundär	0,850		30,700	0,948	
Kupfer Mix 2010	179,070		236,390	1,160	
Kupfer Primär	348,470		367,200	1,603	
Kupfer Sekundär	2,380		85,500	1,319	
Chrom (Ferrochrom)	28,600		22,800	67,700	
Nickel	141,290		233,300	40,825	
Zink	21,760		305,100	8,283	
Zinn	8486,000		10958,000	149000,000	
Trinkwasser	0,010		1,300	0,001	
VE-Wasser	0,080		2,200	0,008	
Flussspat	2,930		7,900	0,056	
Kalisalz (KCl)	5,690				
Bausand, Kies	1,180				
Quarzsand	1,420		1,400	0,030	
Kalkhydrat (Löschkalk)	2,460		11,700	0,090	
Branntkalk Feinkalk	3,230		14,700	0,120	
Flachglas	2,950		11,600	0,743	
REA-Gips Rohstoff	1,830		10,300	0,064	
Portlandzement	3,220		16,900	0,332	
Mauerziegel LHZ	2,110		5,700	0,047	
Dachziegel Ton	2,110		5,300	0,065	
Kalksandstein	1,280		2,000	0,013	
Porentonmauerstein (Leichtbeton)	2,500		15,000	0,263	
technisch getrocknetes Holz	0,770	5,120	9,600	0,143	

Tab. A.7: Materialintensitäten für verschiedene Materialien und Stoffe Teil 2

Materialintensitäten [t/t]	abiotisch	biotisch	Wasser	Luft	bewegter Boden
Spanplatte ab Werk	0,680	0,650	18,400	0,292	
Sperrholzplatte	2,000	9,130	23,600	0,541	
Ammoniak 90 % Erdgas	1,850		10,100	5,044	
Aceton	3,190		18,700	1,890	
Acrylnitril	2,560		93,200	5,047	
Benzol Mittelwert	4,320		28,200	2,190	
Ethylen Naphta	3,890		25,800	1,960	
Ethylenglycol	2,900		133,500	2,293	
Methanol BASF	1,670		4,500	3,873	
Styrol	5,910		42,000	2,864	
Polyethylen Granulat	2,520		122,200	1,617	
Polypropylen Granulat	2,090		35,800	1,482	
PVC	3,470		305,300	1,703	
ABS-Granulat	3,970		206,900	3,751	
Polystyrol General Purpose	2,510		164,000	2,802	
HIPS	2,780		175,300	3,150	
Styrol-Butadien-Kautschuk	5,700		146,000	1,650	
PU-Hartschaum	6,310		505,100	3,563	
PU-Weichschaum	7,520		532,400	3,420	
Epoxidharz	13,730		289,900	5,501	
Polycarbonat	6,940		212,200	4,700	
Polyethylenterephthalat	6,450		294,200	3,723	
Polyamid 6.6	5,510		921,000	4,613	
Schwefelsäure	0,250		4,100	0,700	
Salpetersäure	1,050		105,900	1,690	
Natronlauge 50% Mix	2,760		90,300	1,064	
Salzsäure	3,030		40,700	0,380	
Sauerstoff O2 (g)	2,580		137,000	1,704	
Stickstoff (g)	0,190		7,700	1,051	

A.2 Übersicht der zur Analyse herangezogenen DBU-Projekte

Tab. A.8: Übersicht der relevanten DBU-Projekte Teil 1

AZ	Kurzname	Branche	Stichworte	PLZ	Bundesland	Fördersumme	Referat
12943	Untersuchung zur Energieeinsparung in Schmelzöfen durch die Optimierung induktiver Erwärmungsprozesse	Metall	Energie	30167	Niedersachsen	51.753,99	240 (Schötzt)
14292	Rationaler Energieeinsatz bei Schmelzöfen	Metall	Verfahren, Energie, Metallurgie, Emission	51674	Nordrhein-Westfalen	503.622,50	212 (Schwacke)
14494	industrielle Abwärmennutzung	Metall	Energie, Verfahren, Beschichtung, Maschine, Metall	49088	Niedersachsen	224.968,43	230 (Heidenreich)
14684	Umweltfreundliche Umformung hochwertiger Drähte für nachfolgende Oberflächenbehandlung im Durchlauf	Metall	Verfahren, Beschichtung, Qualität, Oberflächenbehandlung	03238	Brandenburg	195.235,27	222 (Löscher)
14916	Verschleppungsreduzierte Galvanisierapparate	Metall	Verfahren, Galvanik	70771	Baden-Württemberg	79.250,24	210 (Lefèvre)
15533	Einblasen von Stäuben	Metall	Kreislauf, Gießerei, Abfall, AG-	38678	Niedersachsen	316.899,73	212 (Schwacke)
15568	Senkung des Elektroenergieverbrauchs für die Schnittholzrocknung im Sägewerk Fa. Heidrich als Musterbeispiel für weitere KMU's der holzverarbeitenden Industrie	Holz	Energie, Trocknung	01062	Sachsen	92.842,42	242 (Dügel)
16248	Härteloxal auf hochlegierten Aluminiumwerkstoffen	Metall	Verfahren, Energie, Oberflächenbeschichtung	58454	Nordrhein-Westfalen	102.256,38	210 (Lefèvre)
16299	Zwischenstufenver- gütungs- Härteanlage	Metall	Verfahren, Energie, Metall, Stoffkreislauf, Abfall	57439	Nordrhein-Westfalen	236.520,05	222 (Löscher)
16574	Entwicklung eines Energie sparenden Verfahrens zur Herstellung von Winkelnormen ohne Trägstein Phase 1 und 2	Baustoffe	Verfahren, Bau, Bauteilentwicklung, Branche, Emission, Energie, Gebäude, Ressource, Stein	49196	Niedersachsen	762.010,85	210 (Lefèvre)
18024	Kreislaufnutzung von Prozessabwasser in der Teppichindustrie	Textil	Verfahren, Wasser, Kreislauf, Textil	38644	Niedersachsen	99.957,56	212 (Schwacke)
18349	Zweiphasige Entwicklung und Erprobung des Kreislaufverfahrens "Water and Energy Saving System" (WESSY) für Prozesswärme und Prozesswasser in Brauerei- und Getränkebetrieben	Lebensmittel	Abwasser, Kreislauf, Recycling, Metall, Kreislauf, Kontamination	78166	Baden-Württemberg	456.603,00	230 (Heidenreich)
18783	Großtechnisches Recycling von Abrasivschlamm zur Gewinnung eines leistungsfähigen Abrasivmittels für das Abrasivwasserstrahlenschneiden	Baustoffe	Recycling, Metall, Kreislauf, Kontamination	06463	Sachsen-Anhalt	97.400,00	212 (Schwacke)
19970	Reduz. CO2-Emissionen bei der Kalksandstein-Herstellung durch Verwendung von Ton-Materialien	Baustoffe	Emission, Abluft	30149	Niedersachsen	70.100,00	210 (Lefèvre)
20370	Entwicklung eines Verfahrens zur Aufbereitung und Kreislaufnutzung von Spülwasser aus der Kationenaustauscher-Regeneration am Beispiel einer mittelständischen Brauerei unter Einsatz einer halbtechnischen Membranversuchsanlage	Lebensmittel	Abwasser, Recycling, Verfahren	71116	Baden-Württemberg	79.639,00	230 (Heidenreich)
20653	Bandreinigung	Metall	Oberflächenbehandlung, Abwasser	58675	Nordrhein-Westfalen	190.000,00	222 (Löscher)
20785	Energie sparende und emissionsarme Gießerei - Entwicklung einer umweltverträglichen innovativen Verfahrenstechnik	Metall	Verfahren, Gießerei, Energie	57572	Rheinland-Pfalz	87.500,00	212 (Schwacke)
21182	Entwicklung eines umweltschonenden Verfahrens zum Entzundern von Metalloberflächen für industrielle Anwendungen	Metall	Emission, Verfahren, Kupfer, Metall, Oberflächenbehandlung	78632	Baden-Württemberg	176.014,00	222 (Löscher)
21332	Reduzierung der Emissionen und des Energieeintrages bei sauerstoffbeheizten Glasschmelzwanne	Glas	Emission, Glas, Luft	04758	Sachsen	31.262,00	222 (Löscher)
21816	Trockenschleifen von Betonteilen	Baustoffe	Verfahren, Energie, Beton	93057	Bayern	180.000,00	210 (Lefèvre)
21941	Realisierung einer großtechnischen Anlage zur Schließung von Wasserkreisläufen in der Kalksandsteinproduktion	Baustoffe	Verfahren, Kreislauf, Wasser	48157	Nordrhein-Westfalen	400.000,00	212 (Schwacke)

Tab. A.9: Übersicht der relevanten DBU-Projekte Teil 2

AZ	Kurzname	Branche	Stichworte	PLZ	Bundesland	Fördersumme	Referat
22170	Verfahrenstechnische Entwicklung und Optimierung des Einmischprozesses von Gummiblättern zur Herstellung hochwertiger Recyclate	Kunststoff	Abfall, Recycling, Verfahren, Gummi	06108	Sachsen-Anhalt	99.296,00	220 (Löscher)
22197	Aluminium-Druckgieß	Metall	Energie, Gießerei	29614	Niedersachsen	200.000,00	240 (Schätz)
22303	Energieoptimierte Heizkörperfertigung durch fertigungsintegrierte Prozesskontrolle zur Dichtheitsprüfung		Verfahren, Heizung, Qualität, Energie	04720	Sachsen	56.984,00	222 (Löscher)
22577	Energieeffizienter Induktionsheizer mit Supraleitertechnologie - Phase 1 und 2	NE-Metall	Energie, Metall, Verfahren	58809	Nordrhein-Westfalen	595.000,00	240 (Schätz)
23096	Mechanisch-hydraulisches Entzunderungsverfahren mit Hochdruck-Vakuum-Technik und Zunder als abrasivem Strahlmittel		Verfahren, Oberflächenbehandlung, Metall	58675	Nordrhein-Westfalen	182.609,00	222 (Löscher)
23738	Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur umwelt-, energie und ressourcenschonenden Herstellung von Gleitbetonfertigteilen	Baustoffe	Energie, Verfahren, Betonbau, Baustoff	93057	Bayern	96.000,00	210 (Lefèvre)
24398	Energetische Optimierung des Blastformprozesses	Kunststoff	Verfahren, Energie, Produkt, Kunststoff	09247	Sachsen	123.495,00	222 (Löscher)
24644	Nassreinigung mit Vibration	Metall	Verfahren Reinigung	59423	Nordrhein-Westfalen	123.315,00	210 (Lefèvre)
24675	Energieeinsparung in Zementwerken	Baustoffe	Energie, Zement	02957	Sachsen	90.473,00	242 (Dügel)
24790	Neues umweltfreundliches Verfahren zur Wertmetall-Rückgewinnung aus Edelmetallbeizen mittels Membranelektrolyse	Metall	Verfahren, Metall, Rückgewinnung, Recycling	72636	Baden-Württemberg	45.500,00	212 (Schwacke)
25825	Reduktion des Abflutstromes bei Werkzeugmaschinen durch Regelung der Absaugleistung	Metall	Verfahren, Abluft, Emission	78532	Baden-Württemberg	70.000,00	212 (Schwacke)
25933	energieeffizientes Verfahren für Erwärmungs- u. Umformungsprozesse	Metall	Verfahren, AG-Klima, Kfz	49324	Niedersachsen	349.000,00	210 (Lefèvre)
26139	Verfahrensentwicklung zum Glasieren von Klinkerfliesen im Einbrandverfahren	Baustoffe	Verfahren, Stein, Bau	49196	Niedersachsen	330.000,00	210 (Lefèvre)
26521	Reduzierung des Ressourceneinsatzes beim Feuerzinkeln durch Kombination eines neuen Flussmittels mit einer innovativen Flussmittelaufbereitungsanlage	Metall	Verfahren, Kreislauf	58093	Nordrhein-Westfalen	28.800,00	210 (Lefèvre)
26568	Wirbelschichttrocknung mit überhitztem Wasserdampf in der Lebensmittel verarbeitenden Industrie	Lebensmittel	Energie, Trocknung	38122	Niedersachsen	269.400,00	242 (Dügel)
26569	Neuartiges mehrstufiges Verfahrenskonzept zur energie- und prozesseffizienten Herstellung von Zink-Kunststoffbauteilen	Kunststoff	Energie, Verfahren, Bauteil, Kunststoff, Maschine, Verbundwerkstoff, Wärmeaufnahme, Zink	99438	Thüringen	304.272,00	222 (Löscher)
26736	salpetersäurefreien Anlage mit Vakuumdestillation für das Beizen von Edelstahlteilen	Metall	Verfahren, Stahlbau,	33397	Nordrhein-Westfalen	55.992,00	230 (Heidenreich)
26766	Emissionen bei der Herstellung von Mais durch den Einsatz einer Großwärmepumpe in Verbindung mit einem Blockheizkraftwerk - Demonstrationsvorhaben	Lebensmittel	Energie, BHKW, Wärmepumpe	22525	Hamburg	340.000,00	240 (Schätz)
27258	Entwicklung eines produktionsintegrierten Wasser- und Energiewirkungskonzeptes für die Textilindustrie durch Schließung von Wasserkreisläufen auf hohem Temperaturniveau	Textil	Verfahren, Filtration, Membran, Textil	48282	Nordrhein-Westfalen	124.000,00	212 (Schwacke)
27351	Entwicklung einer dritten Wärmekaskade durch Setzen und Trocknen nasser Formlinge im traditionellen Paketbesatz auf Tunnelofenwagen zur energieparenden Herstellung von Ziegelsteinen	Baustoffe	Verfahren, Bau, Energie	49509	Nordrhein-Westfalen	467.000,00	210 (Lefèvre)
27836	Ressourcenschonung durch Einsatz neuartiger Wärmezulürrichtungsmechanismen bei der Herstellung beschichteter Formteile	Kunststoff	Verfahren, Beschichtung	97337	Bayern	91.000,00	222 (Löscher)

Tab. A.10: Übersicht der Projektziele zu Einsparungen bei Energie, Material und Wasser

AZ	Energie			Material			Wasser		CO ₂ direkt	
	Energieart	[MWh]	[%]	Materialart	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
12943										
14292	Erdgas	6000,0	50,0	Edelstahl	240,0	30,0			2000,0	50,0
14494		2800,0	25,0						570,0	25,0
14684										
14916	el. Energie	270,0	30,0						170,0	30,0
15533										
15558	el. Energie	170,0	20,0						40,0	20,0
16248	el. Energie	173,0	57,0							
16299	Erdgas	860,0	40,0	Härtensalz		91,0		87,0		
16574	Primärenergie	5572,3	80,0	Ton	6600,0		1100,0		1000,0	
18024							30000,0	50,0		
18349							6875,0	75,0	2,1	
18783				Granatsand/ Abrasivmittel	2000,0	50,0				
19970										
20370							1777,8	50,0		
20653	el. Energie	1080,0	20,0				36000,0	90,0		
	Erdgas	16500,0	100,0							
20785	Primärenergie	7607,4	44,0	Form- und Kernsande	300,6	27,0			1678,5	30,0
21182				Schwefelsäure	425,0	100,0				
21332	Prozesswärme	9000,0	37,2							
21816			50,0							
21941	Prozesswärme	2934,0	15,0				98000,0	81,0	3600,0	35,0
22170				Gummi (Rohkautschuk)	4000,0	1,0			25792,0	1,0
22197										
22303	el. Energie	130,0	10,0							
22577										
	el. Energie	500,0	31,3	Salzsäure	10320,0		794400,0	99,3		
23096	Erdgas	16500,0	100,0							
23738										
24398	el. Energie	715,0	50,0							
24644										
24675	Heizöl	1340,0								
24790										
25825	el. Energie	700,0	40,0							
25933	Primärenergie	14739,8	38,0						2000,0	36,7
26139	Prozesswärme	3600,0	73,0						657,0	
26521				Zink	52,0	9,2				
26568	Prozesswärme	353998,0	75,0							
26569	Primärenergie	438,5							87,0	
26736				Salpetersäure	5,6	100,0			5,9	
26766	Prozesswärme	17500,0	22,0						6300,0	25,0
27258	Erdgas	19445,0	10,0	Abwasser		20,0	250000,0			
27351	Primärenergie	9050,0	30,0						1828,0	30,0
27836	el. Energie	2384,0	30,0						1478,0	
		494007,0	43,1		23943,2	47,6	1218152,8	76,0	47208,4	28,3

Tab. A.11: Übersicht der Projektergebnisse zu Einsparungen bei Energie, Material und Wasser

AZ	Energie			Material			Wasser		CO ₂ Direkt	
	Energieart	[MWh]	[%]	Materialart	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
12943	el. Energie	58,6	6,6						31,4	6,6
14292		3240,0	27,0	Edelstahl	240,0	30,0				27,0
14494		1677,0	15,0						375,0	
14684				Salzsäure	341,3	100,0	1440,0	100,0		
14916	el. Energie	270,0	30,0						170,0	30,0
15533	Koks	256,7								
15558	el. Energie	170,0	20,0						40,0	20,0
16248	el. Energie	73,0	45,0							
16299	Erdgas	881,1	41,0	Stickstoff	86,4	90,0	11,0	87,5		
				Methanol	14,2	100,0				
				Härtesalz KCL	5,7	94,0				
16574	Primärenergie	5443,3	78,2	Ton	6600,0		1048,0		1280,0	
18024							30000,0	50,0		
18349							6875,0	75,0	2,1	
18783				Granatsand/ Abrasive	2000,0	50,0				
19970		20,7	9,1						20,1	15,2
20370							1777,8	50,0		
20653	el. Strom	952,0	17,0	Salzsäure	29,0	100,0	34400,0	86,0		
	Erdgas	16500,0	100,0							
20785	Primärenergie	3284,0	19,0	Form- und Kernsande	373,0	35,0			894,9	16,0
21182				Schwefelsäure	425,0	100,0				
21332	Prozesswärme	10467,0	42,0							
21816										
21941	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
22170										
22197		566,7	20,0	sek-Aluminium	290,5	100,0				
22303	el. Energie	127,0	9,8							
22577	el. Strom	400,0	45,0	sek-Aluminium	166,7					
	el. Strom	100,0	10,0	Salzsäure	10320,0		744000,0	93,0		
23096	Erdgas	16500,0	100,0							
23738										
24398	el. Energie	400,0	28,0						252,0	28,0
24644	el. Energie	45,0	85,0							
24675	Heizöl	6570,0	7,2							
24790				Eisen	26,7	60,0				
				Chrom	6,7	60,0				
				Nickel	3,3	60,0				
25825	el. Energie	875,0	50,0							
25933	Primärenergie	13964,0	36,0						1862,0	36,0
26139	Prozesswärme	3600,0	73,0							
26521	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
26568	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
26569	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
26736	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
26766	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
27258	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
27351	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd
27836	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd	lfd

Tab. A.12: Zur Beurteilung der Zielerreichung herangezogene Projekte der DBU

	Ziele												Ergebnisse												Zielerreichung	
	Energie			Material			Wasser			CO2 Direkt			Energie			Material			Wasser			CO2 Direkt			Zielerreichung	
	Energieart	[MWh]	[%]	Materialart	[t]	[%]	Wasser	[t]	[%]	CO2 Direkt	[t]	[%]	Energie	[MWh]	[%]	Materialart	[t]	[%]	Wasser	[t]	[%]	CO2 Direkt	[t]	[%]		
AZ																										
14292	Erdgas	6000,0	50,0	Edelstahl	240,0	30,0				2000,0	50,0		3240	27,0	Edelstahl	240,0	30,0					375,0	27,0		92,11	
14494		2800,0	25,0							570,0	25,0		1677,0	15,0												54,00
14916	el. Energie	270,0	30,0							170,0	30,0		270,0	30,0												60,00
15553	el. Energie	170,0	20,0							40,0	20,0		170,0	20,0												100,00
16248	el. Energie	173,0	57,0										73,0	45,0												100,00
16299	Erdgas	860,0	40,0	Härtesalz		91,0				87,0			881,1	41,0	Sticksstoff	86,4	90,0					11,0	87,5			79,00
16574	Primärenergie	5572,3	80,0	Ton	6600,0								5443,3	78,2	Ton	6600,0						1048,0				102,50
18024										30000,0	50,0											30000,0	50,0			97,70
18349										6875,0	75,0	2,1										6875,0	75,0	2,1		100,00
18783				Abrasive- mittel	2000,0	50,0										Abrasive- mittel	2000,0	50,0								100,00
20370										1777,8	50,0											1777,8	50,0			100,00
20653	el. Energie	1080,0	20,0							36000,0	90,0		952,0	17,0	Salzsäure	29,0	100,0					34400,0	86,0			88,15
20653	Erdgas	16500,0	100,0										16500,0	100,0												100,00
20785	Primärenergie	7607,4	44,0	Form- und Kernsande	300,6	27,0							3284,0	19,0	Form- und Kernsande	373,0	35,0							894,9	16,0	100,00
21182				Schwefel- säure	425,0	100,0										Schwefel- säure	425,0	100,0								100,00
21332	Prozesswärme	9000,0	37,2										10467,0	42,0												113,00
21816																										
22303	el. Energie	130,0	10,0										127,0	9,8												97,70
23096	Erdgas	500,0	31,3	Salzsäure	10320,0					794400,0	99,3		100,0	10,0	Salzsäure	10320,0						744000,0	93,0			62,00
23096	el. Energie	16500,0	100,0										16500,0	100,0												100,00
24398	el. Energie	715,0	50,0										400,0	28,0										252,0	28,0	28,60
24675	Heizöl	1340,0											1340,0	7,2												100,00
25825	el. Energie	700,0	40,0										875,0	50,0												125,00
25933	Primärenergie	14739,8	38,0										13964,0	36,0										1862,0	36,0	95,00
26139	Prozesswärme	3600,0	73,0										3600,0	73,0												100,00
26521				Zink	52,0	9,2										Zink	52,0									100,00

A.3 Übersicht der Projekte der Efa-Nrw und des Pius-Netzwerkes

Tab. A.13: Übersicht der Umsetzungsbeispiele der Efa-Nrw und dem Pius-Netzwerk

Kennung	Kurzname	Stichworte	PLZ	Bundesland	Energie		CO ₂		Material		Wasser	
					Energieart	[MWh]	[t]	[%]	Materialart	[t]	[%]	[t]
Efa 1	Optimierung von Kühlprozessen und Abwärmennutzung	Metall	58769	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	1000,0	211,7					
Efa 2	Innovatives, energiesparendes Reinigungsverfahren mit integrierter Vakuumtrocknung in einer Härterei	Metall	42855	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	789,0	158,0		Lösemittel Waschmittel	8,4 58,0	100,0 58,0	
Efa 3	Effiziente Wärmeübertragung im Glühprozess	Metall	58809	Nordrhein-Westfalen	el. Energie	35,4	23,0					
Efa 4	Innovatives und energieeffizientes Verfahren zur Aluminiumbolzenwärmung	Metall	59469	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	1270,5	38,7	141,0				
Efa 6	Neue Beschichtungsanlage spart Wasser/Abwasser	Metall	58849	Nordrhein-Westfalen	Heizöl	295,0	82,6				61,0	3550,0
Efa 7	Trocknungsprozess	Metall	58239	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	1097,0	28,0	232,4				
Efa 9	Innovatives regeneratives Abluftreinigungsverfahren senkt CO ₂ -Ausstoß und Erdgasverbrauch	Metall	45711	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	5500,0	1164,4					
Efa 10	Kreislaufgeführte Kälteanlage und Dreifach-Spülwasser-Kaskade sparen Abwasser ein	Metall	58332	Nordrhein-Westfalen	el. Energie	-42,0	8,9		Schwefelsäure Natronlauge	0,2 0,2		2635,0
Efa 11	Wassersparung durch intelligente Anlagenplanung	Oberflächenbehandlung	58332	Nordrhein-Westfalen								1600,0
Efa 12	Trommelphosphatierung minimiert Wasserverbrauch	Oberflächenbehandlung	58809	Nordrhein-Westfalen								1300,0
Efa 13	Neue Produktionsanlage erhöht Ressourceneffizienz bei der SIC-Verarbeitung und Herstellung	Chemie	50226	Nordrhein-Westfalen					Natronlauge Schwefelsäure Wasserstoffperoxid	6,0 12,8 1,7	7,5 38,8 33,3	11470,0 70,4
Efa 14	Innovative Prozesswasserführung minimiert Lösemittelverbrauch und Abwasser	Maschinenbau	59369	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	38,5	8,2					
Efa 15	Ressourceneffizientere Produktion senkt Material- und Energiekosten	Lebensmittel	57413	Nordrhein-Westfalen	el. Energie	29,0	18,3		Lösemittel Aceton	0,9		684,0
Efa 17	Neue Galvanik-Anlage spart Wasser und Chemie	Lebensmittel	57413	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	2000,0	423,4		Chlorbleichlauge Natronlauge Salzsäure Kalk	41,3 125,2 47,7 43,0	100,0 89,9 89,6 89,6	87300,0 11930,0 94,3
Efa 18	Reduzierte Abfallverluste und verbesserte Reinigung	Oberflächenbehandlung	46539	Nordrhein-Westfalen	Druckluft		10,0				111,0	9200,0
Efa 19	Neue Kisten- und Behälterwäsche spart Wasser ein	Lebensmittel	32756	Nordrhein-Westfalen								
Plus 1	Energiesparende Lackieranlagen	Lackieren	33428	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	230,0	47,0					9720,0
Plus 2	Optimierung der Betriebsabläufe senkt Kosten	Metall	22525	Hamburg								
Plus 3	Temperaturregelung des Hubherdofens	Metall	42899	Nordrhein-Westfalen	Erdgas	16000,0	3200,0					
Plus 4	Optimierung der Abwasserbehandlung und Färb- sowie Brüneranlage	Metall	59757	Nordrhein-Westfalen								4000,0
Plus 5	PLUS-Check in der Lohngalvanik August Dalbeck GmbH	Oberflächenbehandlung	42579	Nordrhein-Westfalen								5000,0

A.4 Zugrunde gelegte Bezugsgrößen für die Hochrechnung

Tab. A.14: Bezugsgrößen für die Hochrechnung, sofern nicht andere Quellen angegeben sind, stammen die Werte aus den jeweiligen Entscheidungsvorlagen, Projektkennblättern oder Abschlussberichten der einzelnen Projekte Teil 1

AZ		Quelle
12943	bezogen auf ca. 2,7 mio t Schmiedeteile	[Euroforge 2010a]
14292	ca. 2,7 Mio Schmiedeteile	[Euroforge 2010a]
14494	keine Angabe zu weiteren Potenzial möglich	
14684	bezogen auf 5,4 Mio. t/a warmgewalzten Draht	[Destatis 2009]
14916	18000 Trommeln in Deutschland im Einsatz, Galvanik hat Anteil von ca. 26% von Gesamtumsatz Oberflächen	[IKB 2005]
15533	bezogen auf Gesamtproduktion Eisen-, Stahl- und Temperguss, 600 Gießereien in Deutschland	[Gesamtmetall 2010]
15558	bezogen auf ca. 12 Mio m ³ getrocknetes Schnittholz, ca. 60 % der Gesamtmenge in 2000	[Ressel 2000]
16248	bezogen auf 150 (89 laut destatis) Betriebe, pro Betrieb ca. 73 MWh/a Einsparung, Annahme 8 % Eloxal an Gesamtwert der Oberflächenbehandlungen von Metallen in Deutschland	[MM 2010]
16299	bezogen auf 10 % Bainithärtung von Federn und Werkzeugen aller Art in Deutschland	[Destatis 2009], [Josten 2010]
16574	keine Angabe zu Gesamtproduktion in D	
18024	bezogen auf Energie- und Wasserverbrauch der Produktion von Teppichen in 1995, Produktionsmenge aus 2009	[Dechema 2004]
18349	bezogen auf ca. 1200 Brauereien bzw. 0,75 m ³ Wasser/m ³ Bier	
18783	15000 t/a recyclingfähiges Abrasivmittel	
19970	6 Mio m ³ Kalksandsteine in 2008, Wert bezogen auf Produktion von ca. 9.6 Mio. t, Rohdichte ca. 1.6 t/m ³	[KS 2010]
20370	bezogen auf 110 mio hl Bier	
20653	bezogen auf Bleche und Bänder aus legiertem und unlegiertem Stahl in 2009	[Destatis 2009]
20785	bezogen auf Abfallmengen von Form- und Kernsand, Produktionsmenge bezogen auf Alu-Sandguss	[Ifeu 2006]
21182	Menge an Blech und Bänder aus Buntmetall und Stahl, Einsparpotenzial Säure bereits für Deutschland abgeschätzt	
21332	bezogen auf Flachglas und Glasfasern in 2008	[BV-Glas 2010]
21816	bezogen auf Produktion von Gehwegplatten u.Ä. aus Beton in 2009	[Destatis 2009]
21941	ca. 6 Mio. m ³ /a NF-Steine, Rohdichte 1.6 t/m ³	
22170	400.000 t/a verwertbare Gummiabfälle	
22197	bezogen auf Produktion von Aludruckguss 2008	[GDA 2010]
22303	bezogen auf Produktion von Widerstandsheizungen in 2009	[Destatis 2009]
22577	bezogen auf 50 % der Gesamtproduktion Alu-Profilen und Stangen usw. 447000 t in 2009	[Destatis 2009], [Witte 2010]

Tab. A.15: Bezugsgrößen für die Hochrechnung, sofern nicht andere Quellen angegeben sind, stammen die Werte aus den jeweiligen Entscheidungsvorlagen, Projektkennblättern oder Abschlussberichten der einzelnen Projekte Teil 2

AZ		Quelle
23096	Warmbreitband gesamt 2009	[Destatis 2009]
23738	bezogen auf Gehwegplatten u.Ä. aus Beton in 2009	[Destatis 2009]
24398	8,5 Mio m ³ Blasvolumen Druckluftflaschen, 100000 MWh	
24644	bezogen auf Wellen, Teile für Motoren, Drehteile aller Art 2009	[Destatis 2009]
24675	bezogen auf Gesamtproduktion Zement in D 2008	[Destatis 2009]
24790	keine Angaben zu Produktionsmenge, Angaben bezogen auf Abfallmengen von ca. 3000 Beizereien in Deutschland	[Ifeu 2006]
25825	bezogen auf ca. 1,2 Mio. Werkzeugmaschinen in Deutschland, im Mittel 720 MWh/a Verbrauch el. Energie pro Maschine	
25933	Parabelfedern und Lenkerfedern in 2009	[Destatis 2009]
26139	keine Angaben zur Gesamtproduktion	
26521	Feuerverzinken 2009, 1/4 der metallischen Überzüge Feuerverzinken	[IKB 2005]
26568	bezogen auf Bagasse in D 2009	[Destatis 2009]
26569	bereits auf Marktpotenzial in D hochgerechnet, keine Angaben zu weiteren Einsatzmöglichkeiten	
26736	bezogen auf Altbeize, ca. 16730 t/a HNO ₃ , 3000 Beizbetriebe in D	[Ifeu 2006]
26766	Malzproduktion in 2009, 0,164 t/m ³ Bier in D	[Destatis 2009]
27258	bezogen auf Kunstgarne aus PAN, PE	[Destatis 2009]
27351	bezogen auf Jahresmenge Ziegel in Deutschland	[Destatis 2009]
27836	bereits hochgerechnet auf Deutschland, keine Angaben zur weiteren Übertragbarkeit	
Efa 1	keine Angaben	
Efa 3	30280 t/a Aluminium-Draht	[Destatis 2009]
Efa 4	bezogen auf 223500 t/a Alu Profile usw., Öfen mit Gas beheizt	[GDA 2010]
Efa 7	keine Angaben	[Witte 2010]
Efa 10	keine Angaben	
Efa 11	ca. 114 Verzinkereien	[WVM 2010]
Efa 12	600 Beschichter, Galvanikbetrieb, Veredler usw.	
Efa 13	keine Angaben	
Efa 14	26870 Lifte u.A. 2009, 29405 in 2007, Beachte: Einheit Stück!	[Destatis 2009]
Efa 15	2001166,889 t/a Fleisch und Wurst in D 2009	[Destatis 2009]
Efa 17	600 Beschichter, Galvanikbetrieb, Veredler usw.	
Efa 18	8,8 Mio hl Bier in 2009 Bier	[Destatis 2009]
Efa 19	2001166,889 t/a Fleisch und Wurst in D 2009	[Destatis 2009]
Pius 2	keine Angaben	

Literaturverzeichnis

- [Acosta 2007] Acosta-Fernández: Identifikation prioritärer Handlungsfelder für die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenproduktivität, Wuppertal 2007, S.22
- [Baake 2004] Dr.-Ing. Egbert Baake: Energetische und wirtschaftliche Einsparpotenziale bei Elektroprozessverfahren; Universität Hannover, Institut für Elektrothermische Prozesstechnik, Hannover 2004
- [Bistron 2010] Telefonat mit Herrn Bistron, Leibniz Universität Hannover, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Garbsen, 16.06.2010
- [Bock 2010] Telefonat mit Herrn Bock, TU Braunschweig, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Braunschweig, 21.6.2010
- [BV-Glas 2010] Bundesverband Glasindustrie e. V. Bundesverband Glasindustrie: Jahresbericht 2009; http://www.bvglas.de/fileadmin/media/Presse/Publikationen/Jahresberichte/Produktion_von_Glas_und_Glaswaren_nach_Branchensektor.pdf
- [Cucke 2010] <http://users.physik.tu-muenchen.de/cucke/medprakt/Fehler.PDF>
- [Dechema 2004] Analyse und Bewertung von Stoffströmen der Chemie und Industriegesellschaft: Textile Bodenbeläge, Gemeinschaftsausschuss von Dechema und GDCH, 2004 http://www.dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/stofffluss_brosch%C3%BCre.pdf

- [Destatis 2009] Statistisches Bundesamt: Fachserie 4 Reihe 3.1; Produzierendes Gewerbe: Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden, diverse Seiten, Wiesbaden, 2009
- [Destatis 2010a] Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2010; Wiesbaden, 2010; S. 373
- [Destatis 2010b] Statistisches Bundesamt: Primärenergieverbrauch nach Produktionsbereichen im Inland in Petajoule, Wiesbaden, 2010; <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/EnergieRohstoffeEmissionen/Tabellen/Content100/Primaerenergieverbrauch,templateId=renderPrint.psml>
- [Destatis 2010c] Statistisches Bundesamt: Direkte CO₂-Emissionen nach Produktionsbereichen im Inland, Wiesbaden, 2010 <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/EnergieRohstoffeEmissionen/Tabellen/Content100/Co2Emissionen,templateId=renderPrint.psml>
- [Euroforge 2010a] Europaweite Produktionsstatistik Massivumformung http://www.metalform.de/fileadmin/_infopyramide/5_wirtschaftsdaten/konjunktur_massivumform/Production_2008.pdf, Zugriff am 18.08.2010
- [Euroforge 2010b] Industrieverband Massivumformung e. V. : Weltweite Produktionsstatistik Massivumformung; http://www.metalform.de/fileadmin/_infopyramide/5_wirtschaftsdaten/konjunktur_massivumform/World-tons-2008.pdf
- [Faulstich 2009] Faulstich, Prod. Dr. Martin: Perspektive Zukunftsfähigkeit – Steigerung der Rohstoff- und Materialeffizienz, Frankfurt am Main 2009; www.kfw,04.de/.../Steigerung_der_Rohstoff-_und_Materialeffizienz_September_2009_Internet.pdf

- [Feifel 2010] Silke Feifel u.a.: Ökobilanzierung 2009 - Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit; KIT Scientific Publishing; 2010; S.164
- [FF 2008] Forest Finest, Ausgabe 02/2008; S. 5
- [FFE 1999] R. Corradini, u.a.; Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen; Forschungsstelle für Energiewirtschaft; München, 1999
- [Fischer 2010] Telefonat mit Herrn Fischer, Fischer Oberflächentechnik GmbH, Witten, 22.6.2010
- [Fuchs 2010] Telefonat mit Herrn Fuchs, Keystone Bahntechnik, Neitersen, 16.8.2010
- [GDA 2010a] Aluminiumproduktion in Deutschland, <http://aluinfo.de/index.php/produktion.html>
- [GDA 2010b] Weltweite Aluminiumproduktion, <http://aluinfo.de/index.php/produktion-weltweit.html>
- [Gemis 4.5] Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, <http://www.oeko.de/service/gemis/>
- [Gesamtmetall 2010] Betriebe und Beschäftigte nach Branchen 2009; <http://www.gesamtmetall.de/gesamtmetall/meonline.nsf/Graph/cfbc170e048c5284c1256bba005165b5?OpenDocument&popup=1>
- [Holtmann 2010] Telefonat mit Herrn Holtmann, Hora-Werk GmbH, Bünde, 7.7.2010
- [Ifeu 2006] Regine Vogt u.a.: Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland – Industrieabfälle, Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg 2006
- [IKB 2005] Markus Mohaupt: Branchenbericht Oberflächentechnik; Deutsche Industriebank 2005; http://www.zvo.org/uploads/media/IKB_Branchenbericht_Oberflaechen_Mai_2005.pdf

- [Irrek 2007] Irrek, Wolfgang; Kora, Kristof: Ressourceneffizienz: Warum sie es verdient schneller Umgesetzt zu werden; Wuppertal Institut für Umwelt, Klima und Energie, Wuppertal 2007, S. 10,11
- [John 2010] Telefonat mit Frau John, Tritech Oberflächentechnik GmbH, Solingen, 8.6.2010
- [Johnson 2007] Jeremiah Johnson, u.a.: The benefit of stainless steel Recycling; Energy Policy; 2007
- [Josten 2010] Telefongespräch mit Herrn Josten, Josten & Bock GmbH Attendorn, 20.8.2010
- [KS 2010] Kalksandstein e.V., 2010
- [Laner 2006] David Laner, Helmut Rechberger: Technisch-naturwissenschaftliche Entscheidungsgrundlagen für die zielorientierte Behandlung von Alt-Kühlgeräten; TU Wien, 2006
- [LSKN 2009] Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen: Produktion im verarbeitenden Gewerbe 2008; 2009
- [MM 2010] Artikel aus Maschinenmarkt „Oberflächenveredler kündigen saftige Preiserhöhungen an“; 4.8.2010 Vogel Business Media
- [NetzRe 2010] http://www.netzwerk-ressourceneffizienz.de/to_know/kurz_amp_knapp/index.html, 2010
- [Patel 1999] Martin Patel: KEA für Produkte der organischen Chemie, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe. 1999
- [Ressel 2000] J.B. Ressel u.a: Schnittholztrocknung im Spannungsfeld unterschiedlicher Erwartungen, 10. Hamburger Forst- und Holzfachtagung 2000

- [Ritthoff 2002] Michael Ritthoff, Holger Rohn, Christa Liedtke; MIPS berechnen: Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen; Wuppertal Institut f. Klima, Umwelt, Energie; 2002, S. 15
- [UN 2010] <http://data.un.org/Explorer.aspx?d=ICS#>
- [VDI 1995] Kumulierter Energieaufwand: Tagung Veitshöchheim; November 1995
- [Wiberg 2007] Nils Wiberg, Egon Wiberg, Arnold Fr. Holleman: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Gruyter 2007
- [Witte 2010] Telefonat mit Herrn Witte, Bültmann GmbH, Neuenrade, 17.6.2010
- [Wu 2010] MIT-Wertetabelle; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; 2010; http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/MIT_v2.pdf
- [WVM 2010] Wirtschaftsvereinigung Metall; Metallstatistik 2009; http://www.wvmetalle.de/wvmprofi/media/doc_6693_201072815934.pdf
- [WV-Stahl 2010] Weltweite Stahlerzeugung, http://www.stahl-online.de/wirtschaft_und_politik/stahl_in_zahlen/Dokument/2009/Weltweite_Stahlerzeugung_2009.pdf
- [Zink 2010] Initiative Zink: Zink in Zahlen; 2010; <http://www.initiative-zink.de/basiswissen/zink-in-zahlen.html>