

Datenanalyse und Varianten für die VR-Visualisierung von Energiekennwerten

(Data analysis and options for VR-visualization of energy parameters)

Wittstock, V.; Pätzold, M.

¹ TU Chemnitz, Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

Abstract

Im vorliegenden Artikel werden Überlegungen vorgestellt, die bei der Visualisierung von Energiekennwerten im virtuellen Raum zu beachten sind. Zunächst wird ein allgemeiner Überblick über die Disziplinen der Visualisierung gegeben. Im Anschluss werden verschiedene Faktoren untersucht, die bei der Erstellung einer VR-Visualisierung berücksichtigt werden müssen. Es folgen eine Vorstellung verschiedener Darstellungsvarianten für den Anwendungsfall der Energieflussvisualisierung sowie ein Ausblick. In der vorliegenden Arbeit werden Fragestellungen zur Visualisierung der Energieeffizienz am Beispiel der Werkzeugmaschine als Bilanzierungsobjekt betrachtet.

The article discusses aspects of the visualization of energy parameters in virtual reality. First of all, a general overview of the disciplines of visualization is given. Following, various factors that have to be considered when creating the VR-visualization are examined. Different display options for energy flow visualizations and an outlook are presented afterwards. The discussion of energy efficiency visualization is supported and exemplified, resp., using the example of a machine tool.

Keywords:

Energiekennwerte, Visualisierung, Virtuelle Realität
energy parameters, visualization, virtual reality

1 Einführung

Die Hauptaufgabe der VR-Visualisierung (VR – Virtual Reality, immersive Darstellung) besteht in der Darstellung von abstrakten Daten. Ein bestehender Sachverhalt (Struktur, Anzahl, Zuordnung der Daten, Geometrie von Objekten) kann durch die visuelle Repräsentation besser veranschaulicht werden, so dass die Interpretation erleichtert wird. Anwendungsfelder für die VR-Repräsentation liegen heute vor allem in der Darstellung von Geometriedaten u. a. im Marketing (Visualisierung von Verkaufsobjekten) und in der Lehre (Visualisierung von teilmontierten Maschinen). Durch die Verwendung von Interaktionstechniken ist es zusätzlich möglich, VR-Werkzeuge zur Bearbeitung von komplexen Problemstellungen bereitzustellen.

Das allgemeine Forschungsgebiet der Visualisierung wird in folgende Prinzipien unterteilt:

- wissenschaftliche Visualisierung (Scientific Visualization),
- Informationsvisualisierung (Information Visualization)
- Visuelle Analytik (Visual Analytics)

Obwohl keine präzise Abgrenzung zwischen den einzelnen Bereichen möglich ist, kann festgestellt werden, dass sich die wissenschaftliche Visualisierung hauptsächlich mit Fragestellungen auseinandersetzt, bei denen die darzustellenden Daten eine geometrische Entsprechung besitzen bzw. aus einem physikalischen Prozess hervorgehen (Bild 1 (a)). Bei der Informationsvisualisierung hingegen werden Daten ohne Bezug zu einer geometrischen Repräsentation visualisiert (Bild 1 (b)). Die Darstellung von Datenstrukturen ist ein Beispiel für diese Art der Visualisierung. Visuelle Analytik wird als Zusatz zu den beiden vorhergehenden Fachgebieten gesehen. Ihr Ziel ist die verbesserte Visualisierung zur Unterstützung von Entscheidungen, da die nicht zweckmäßige Darstellung komplexer Daten oft dazu führt, dass relevante Informationen bei der Entscheidungsfindung nicht beachtet werden. Die hieraus resultierenden Fehlentscheidungen sollen durch eine geeignete Kenntlichmachung dieser komplexen Daten verhindert werden. Weiterführende Betrachtungen zur visuellen Analytik finden sich in [1].

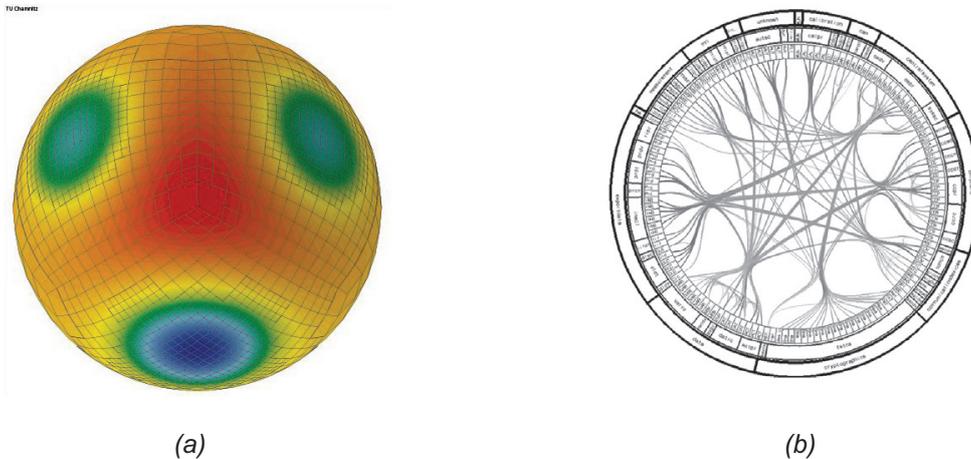


Bild 1: Visualisierungsbeispiele: a) wissenschaftliche Visualisierung (Scientific Visualization) [2], b) Informationsvisualisierung (Information Visualization) [3]

2 Datenanalyse für die Visualisierung

2.1 Datengrundlage

Begriffsklärung

Die Komplexität einer Visualisierungsaufgabe erfordert, wie in anderen Ingenieurbereichen auch, ein zu den beteiligten Wissensbereichen paralleles Arbeiten, auch wenn deren zu visualisierende Daten zu Beginn eines Projektes noch nicht definiert sind. Zu Beginn einer Visualisierungskonzeption ist also oft nicht vollständig klar, welche Daten in welcher Form vorliegen bzw. vorliegen werden. Wie die Projekterfahrung zeigt, erfordert diese interdisziplinäre Herangehensweise eine genaue Definition der Begriffe, die Daten beschreiben.

Der Begriff „Daten“ kann mit dem mathematischen Begriff „Variable“ gleichgesetzt werden. Die Daten sind eine unbestimmt große Menge von (unsortierten) Variablen. Die im Fokus der Visualisierungsaufgabe stehenden und bzgl. der Energieeffizienz interessierenden Daten sind eine Teilmenge davon. Idealerweise werden diese Daten strukturiert, es entsteht eine „Datenstruktur“. In der Regel werden die Ergebnisse von Simulationen, Berechnungen, Schätzungen oder Messungen eines Maschinensystems (Bilanzierungsobjekt) nur einen Teil dieser Datenstruktur mit konkreten (Zahlen-)Werten belegen. Das jeweilige Ergebnis ist der „Datensatz“, der im mathematischen Sinn der Zuordnung von konkreten „(Zahlen-)Werten“ zu bestimmten Variablen der Daten entspricht. Der Datensatz fasst die wertbelegte Menge von Variablen zusammen, die sich ihrerseits als Untermenge in die Datenstruktur einordnen lassen. Je nachdem wie die Werte für den Datensatz ermittelt werden (Simulationen, Messungen etc.), kann die Struktur bzw. der Umfang der Datensätze

für ein und dasselbe Maschinensystem qualitativ und quantitativ sehr unterschiedlich sein.

Datenquellen

Für die Visualisierung einer Fragestellung werden entsprechende Datensätze als Grundlage benötigt. Je nach Entstehung bzw. Ableitung dieser im Datensatz enthaltenen Werte ergeben sich wiederum direkte Einschränkungen für die VR-Anwendung bzw. die virtuelle Interaktion. Manuell erstellte Datenwerte sind statisch bzw. treffen nur auf einen konkreten Sachverhalt zu, so dass die VR-Interaktion im schlechtesten Fall auf die Festlegung der Blickposition beschränkt ist. Unter Verwendung einer Messung über die Zeit ist es möglich, eine Animation zu erstellen. Eine dynamische und interaktive Parameteränderung in VR wird erst durch die Verwendung eines Simulationsmodells zur Erstellung der Datensätze gewährleistet. Es zeigt sich, dass die Möglichkeiten der VR-Interaktion durch die Art des Datensatzes definiert werden.

Mit der Verwendung einer VR-Anlage ist eine Überführung der Datensätze in den 3D-Raum nötig. Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung können direkt auf die Daten angewendet werden, welche eine geometrische Repräsentation besitzen. Ist der Datensatz keiner geometrischen Entsprechung zugeordnet, werden Methoden der Informationsvisualisierung benötigt, um die abstrakten Daten in eine räumliche Interpretation zu überführen. Die Art der zu kodierenden Daten hat dementsprechend einen großen Einfluss auf die Anforderung an die VR-Visualisierung. Daten, die Informationen über eine geometrische Position oder auch die Zeit mit sich führen, sind generell einfacher in den virtuellen Raum übertragbar. Je abstrakter die Daten bzgl. geometrischen Zuordnungen oder Vergegenständlichungen werden, umso größer ist der Aufwand eine geeignete visuelle Interpretation zu finden.

2.2 Zweckbestimmung

Um die Art der VR-Visualisierung festzulegen, muss zunächst untersucht werden, welcher Zweck durch die Darstellung der Daten verfolgt und welche Zielgruppe angesprochen werden soll. Zum anderen muss entschieden werden, welche Funktionalität mit der Visualisierung verbunden ist. Die Wirkung einer Visualisierung auf den Betrachter ist zusätzlich immer von der subjektiven Wahrnehmung des Betrachters geprägt.

Bezüglich der Wissensdomäne einer Problemstellung lässt sich die Zielgruppe in Fachkundige und Fachfremde einteilen. Ein Fachkundiger im Bereich von Fragestellungen der Energieeffizienz ist hauptsächlich der Ingenieur. Unter Berücksichtigung eines Kostenmanagements ist auch der Kaufmann als Fachkundiger zu be-

trachten. Als Fachfremde sind generell alle anderen Akteure anzusprechen, die kein Wissen über die entsprechende Problemstellung besitzen.

Die Funktionalität der VR-Visualisierung erstreckt sich von einer Animation bis hin zu einem VR-Entwicklungswerkzeug. Grundsätzlich ist eine manuell erstellte Animation nur eingeschränkt wiederverwendbar. Außerdem muss den Datensätzen zur Erstellung der Animation nicht zwangsweise eine physikalisch korrekte Simulation zugrunde liegen. Mit dieser Animation ist nur eine grobe bzw. qualitative Bewertung einer Problemstellung zulässig. Das heißt verallgemeinert, diese Visualisierung wird nur so genau sein, wie die Datensätze bzw. die Werte, auf denen sie beruht. Durch zusätzliche Überhöhung kann die Aussagekraft verstärkt oder abgeschwächt werden. Die Gefahr der Manipulation des Betrachters ist dabei gegeben.

Tabelle 1: Eigenschaft und Zweck einer VR-Visualisierung

	Animation	Entwicklungswerkzeug	
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Datensatz ohne Änderung von Einflussgrößen als Grundlage • nur Kameraposition & Zeitpunkt frei wählbar 	<ul style="list-style-type: none"> • dynamische Parameteränderung durch Zugriff auf Simulation oder austauschbare Datensätze • automatische Erstellung von Animationen 	
Zwecke für den Fachkundigen	<ul style="list-style-type: none"> • veranschaulichte Präsentation eines Ergebnisses oder einer Fragestellung • Vermittlung von Fachwissen 	<ul style="list-style-type: none"> • Entscheidungsfindung bei Problemstellung • Analyse von komplexen Datensätzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Information & Scientific Visualization • Visual Analytics
Zwecke für den Fachfremden	<ul style="list-style-type: none"> • Präsentation • Kommunikation von Verständnisproblemen 	<ul style="list-style-type: none"> • Entscheidungsfindung durch zusätzliche Unterstützung mit Fachwissen (offene Frage, ob ein Fachfremder Entscheidungen treffen soll) 	

Die Interaktionsmöglichkeiten der VR-Animation beschränken sich auf die Festsetzung eines Zeitpunkts und die Festlegung eines bestimmten Blickpunkts.

Ein VR-Entwicklungswerkzeug ist als Erweiterung der manuellen Animation zu verstehen. Das VR-Entwicklungswerkzeug ermöglicht die Verwendung verschiedener Datensätze bzw. deren Austausch, so dass hieraus jeweils verschiedene Animationen automatisch generierbar sind. Durch die zwingende Verwendung von Datensätzen, die mit einer Simulation oder einer Messung erstellt wurden, kann von einer physikalisch exakten Visualisierung ausgegangen werden, wobei „exakt“ nicht automatisch besser erkennbar bedeutet. Die quantitative Bewertung einer physikalischen Größe, die z. B. indirekt auf die Energieeffizienz verweist, ist jedoch möglich. Durch den Aspekt der Interaktion ist es zusätzlich möglich, ein zugrundelie-

gendes Simulationsmodell dahingehend zu nutzen, dass eine Fragestellung durch Parameteränderungen im virtuellen Raum visuell untersucht werden kann. Neben der Austauschbarkeit der Datensätze ist die immersive Veränderung der Darstellung aufgrund der Parameteränderung ein Hauptvorteil gegenüber der manuell erstellten Animation. Auch wenn die VR-Anwendung nur zum Teil den Eigenschaften der Animation oder dem Entwicklungswerkzeug entspricht, kann sie dennoch in das Spektrum zwischen diesen beiden Definitionen eingeordnet werden.

Anhand der Feststellung der Zielgruppe und der Art der VR-Anwendung lässt sich nun ermitteln, welcher Zweck mit der VR-Visualisierung verfolgt werden kann. Einen Überblick hierüber gibt Tabelle 1. Hier werden zusätzlich noch einmal zusammenfassend die Eigenschaften der VR-Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt.

2.3 Eigenschaften des Bilanzierungsobjekts

2.3.1 Komplexität der Daten

Die Komplexität der Daten beeinflusst die Möglichkeiten der VR-Visualisierung. Die Abstraktion der Daten wird durch die VR-Anwendung aufgelöst, da hier für die Daten stets eine geometrische Repräsentation benötigt wird. Die Darstellung eines komplexen Datensatzes wird eingeschränkt, weil für die VR-Visualisierung eine eindeutige Zuordnung zwischen Bilanzierungsobjekt und Datensatz gefunden werden muss. Wird bspw. eine elektrische Größe zwischen Einspeisung der Maschinen bis zu einem Motor als Endverbraucher visualisiert, so entstehen für einige Komponenten im Energiefluss Lücken, weil elektrische Verluste im Schaltschrank keinem geometrischen Objekt im digitalen Modell zuzuordnen sind. (Hintergrund: Die inneren Komponenten eines Schaltschranks werden bei der Maschinenkonstruktion (mechanischer Teil) meistens nicht detailliert oder gar nicht generiert, da sie für die Passfähigkeit der einzelnen Maschinenkomponenten keine Rolle spielen.) Aufgabe der VR-Darstellung ist es, verschiedene Techniken anzuwenden, um eine übersichtliche und verständliche Visualisierung zu gewährleisten.

Wenn ein Datensatz sehr umfangreich ist und keine geometrische Entsprechung besitzt, ist die Nutzung der VR unter dem Aspekt sinnvoll, dass die Interaktionsmöglichkeiten im virtuellen Raum zum besseren Verständnis oder zur Exploration eines Sachverhalts benutzt werden können. Hierfür werden Disziplinen wie Visual Data Mining oder Visual Analytics benötigt, um wichtige Aspekte hervorzuheben ohne einen Informationsverlust hinzunehmen. Besitzt ein Datensatz nur eine geringe Komplexität, wird kein Mehrwert durch die Nutzung von VR zur Darstellung erreicht.

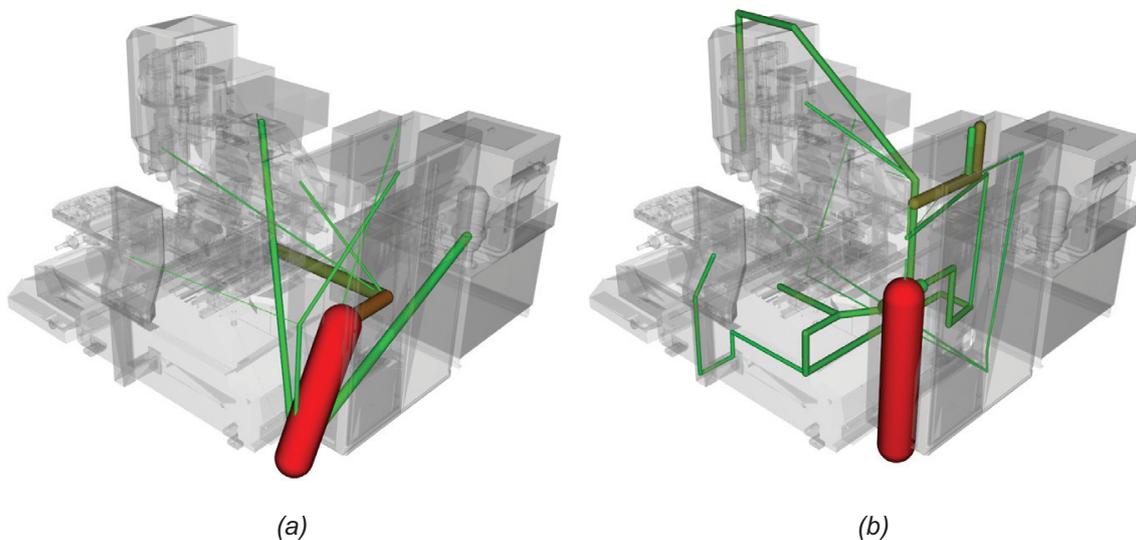


Bild 2: Darstellung von des Flusses und der Verteilung elektrischer Energie in einer Werkzeugmaschine: (a) hoher Abstraktionsgrad, (b) niedriger Abstraktionsgrad

Beispiel

Am Beispiel der Verteilung der elektrischen Energie einer Werkzeugmaschine soll die Eigenschaft der Komplexität der Daten verdeutlicht werden. Der Datensatz besteht aus einer Messung eines Bearbeitungsvorgangs für verschiedene Energieverbraucher innerhalb der Werkzeugmaschine. Die geometrische Repräsentation der elektrischen Energie entspricht dem Stromkabel. Für die elektrische Leistung werden die Schein-, Blind- und Wirkleistung aufgezeichnet. Eine farbliche Kodierung des Stromkabels entsprechend des gemessenen Energiekennwertes hätte zur Folge, dass jeweils nur eine Leistung abgebildet werden kann. Nur eine Veränderung der Zuordnung zwischen Bilanzierungsobjekt und Datensatz ermöglicht nun die Darstellung aller drei Leistungswerte zur gleichen Zeit. Die Verwendung des realen Verlaufs des Stromkabels würde weiterhin bei einer Entscheidungsfindung eine unübersichtliche Visualisierung bedeuten und dementsprechend eine mögliche Fehlentscheidung begünstigen. Der Abstraktionsgrad in diesem Beispiel ist ein wichtiges Hilfsmittel, um einen komplexen Sachverhalt darzustellen. Zur Veranschaulichung ist in Bild 2 ein Vergleich zwischen zwei Abstraktionsgraden dargestellt. In Bild 2 (a) wurden für die Stromkabel nur ein Start- und ein Endpunkt angegeben, so dass eine lineare Verbindung zwischen den Verbrauchern entsteht. Assoziationen mit dem realen Verlauf des Stromkabels fallen je nach Vorwissen des Anwenders sehr unterschiedlich aus. Bild 2 (b) zeigt als Beispiel den Verlauf des elektrischen Stroms mit mehreren definierten Positionen, so dass der Verlauf des Stroms mit dem realen Verlauf der Kabel assoziiert werden kann. Bei dieser niedrigeren Abstraktionsstufe leidet die Übersichtlichkeit, wohingegen eine zu starke Abstraktion zu einem Unverständnis führen kann. Je nach Zielgruppe (siehe Abschnitt 2.2) muss demnach abgewogen werden, inwieweit von der geometrischen

Repräsentation des Bilanzierungsobjektes abgewichen werden kann. Abhängig vom Wissen des Betrachters und dem Zweck der VR-Visualisierung sind unterschiedliche Abstraktionsgrade zielführend. Innerhalb des Projektes wurden bspw. die Verläufe im Bild 2 (a) von Betriebswirtschaftlern besser aufgenommen als von den Ingenieuren, die die Verläufe in Bild 2 (b) favorisierten.

2.3.2 Größe des darzustellenden Objekts

Die Darstellung eines komplexen Datensatzes hängt eng mit der Größe des darzustellenden Bilanzierungsobjekts zusammen. Durch die Visualisierung von abstrakten Daten, die mit entsprechender Geometrie verknüpft werden, schränkt sich der Platz im 3D-Raum für die Anzahl an Kennwerten dahingehend ein, dass jeder Kennwert der entsprechenden Geometrie eindeutig zuzuordnen sein muss. Dabei muss zusätzlich gewährleistet bleiben, dass die Übersichtlichkeit des dargestellten Datensatzes nicht verloren geht. Abhängig von der geometrischen Repräsentation der abstrakten Daten als Balkendiagramm, Verlauf der Größen im Sankey-Diagramm [4] o. Ä. kann zunächst eine einfache Skalierung verwendet werden, um sich den Voraussetzungen des Bilanzierungsobjekts anzupassen. Werden mehrere Bilanzierungsobjekte auf engem Raum oder mit erheblichen Größenunterschieden gleichzeitig dargestellt, müssen allerdings andere Möglichkeiten gefunden werden, um die Übersichtlichkeit zu erhalten.

Beispiel

Die Problemstellung der Bilanzierungsobjektgröße soll im Folgenden am Beispiel der Prozesskettenvisualisierung veranschaulicht werden. Die Daten für die Visualisierung eines Prozesses beschränken sich zunächst auf Kennwerte des zu erstellenden Werkstücks. Eine Visualisierung bezieht sich dementsprechend auf die Darstellung des Werkstücks sowie die zeitliche Abfolge der Prozessschritte und die damit verbundene Veränderung der Werkstückgeometrie. Im vorliegenden Beispiel wird ein rotationssymmetrisches Werkstück auf zwei Arten erstellt. Eine prototypische Umsetzung für einen Vergleich in VR zeigt Bild 3 (a). Zur Erstellung der gewünschten Geometrie werden die Prozesse Drehen und Abstechen durchgeführt. Zusätzliche Fügeprozesse sind noch nötig, wenn sich das fertige Werkstück aus mehreren (vorbearbeiteten) Halbzeugkomponenten zusammensetzt. Die einzelnen Prozesse werden in einer Prozesskette zusammengefasst. Die prototypische Umsetzung erlaubt nun ein schrittweises Durchschalten der Prozesskette, so dass ein Variantenvergleich mithilfe einer Visualisierung von Kennwerten am Werkstück ermöglicht wird.

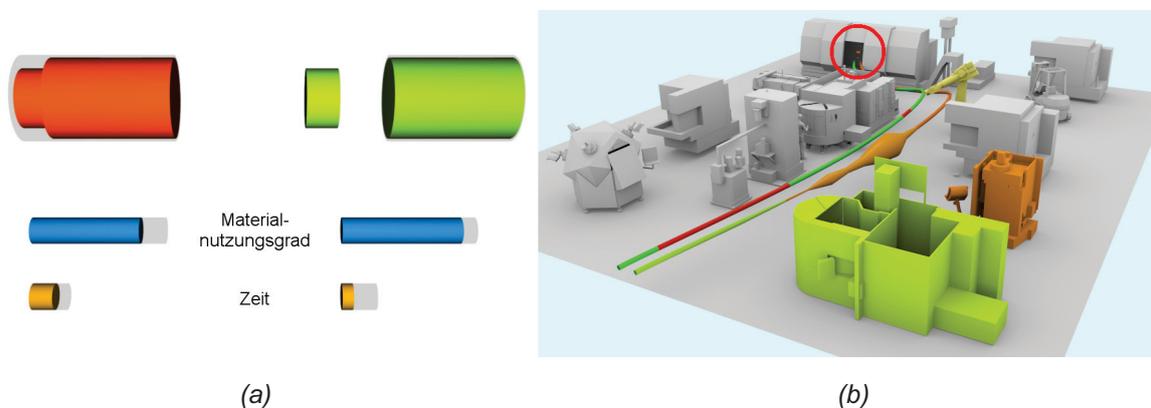


Bild 3: (a) Variantenvergleich durch Prozessvisualisierung am Bauteil, (b) Prozessvisualisierung unter Beachtung der produzierenden Werkzeugmaschinen

Werden nun die produzierenden Werkzeugmaschinen in die Visualisierung mit einbezogen, wird der Raum für die Darstellung so stark erweitert, dass die Prozessvisualisierung über der Bauteilgeometrie nicht mehr erkennbar ist (Kreismarkierung in Bild 3 (b)). Andere geometrische Repräsentationen des Datensatzes müssen nun gefunden werden, um die bauteilorientierten Daten an die veränderte Dimension des Bilanzierungsraums anzupassen. Bild 3 (b) zeigt zwei mögliche Repräsentationen. Die erste Möglichkeit besteht in der Einfärbung der betreffenden Werkzeugmaschine entsprechend des Kennwertes, der auf das Bauteil abgebildet werden würde. Ein Nachteil liegt hierbei wieder in der Beschränkung auf die gleichzeitige Darstellung von genau einem Wert, so dass für weitere Kennwerte zusätzliche Repräsentationen eingeführt werden müssen. Weiterhin kann es zu einer missverständlichen Interpretation kommen, da der eigentliche Kennwert bauteilspezifisch ist und für die Einfärbung der Werkzeugmaschine andere Werte erwartet werden, die nur eingeschränkt zu dem eigentlichen Prozess gehören. Die zweite Möglichkeit besteht in der visuellen Kodierung des Weges, den ein Bauteil während des Bearbeitungsprozesses zurücklegt. Hierdurch ist es möglich, eine missverständliche Interpretation zwischen Kennwerten des Werkstücks und der Werkzeugmaschine zu verhindern. Ein weiterer Vorteil liegt in der freien Gestaltung dieser Geometrierepräsentation, so dass mehrere Kennwerte gleichzeitig abgebildet werden können. Im Beispiel werden die Farbe und der Durchmesser des Weges zur gleichzeitigen Darstellung von zwei Werten verwendet. Die energetischen Eigenschaften der darzustellenden Prozesskette und der eventuell nötige Abstraktionsgrad des Bauteils, der Maschine oder der Anlage wirken sich wiederum nachteilig auf die jeweilige Darstellungsvariante aus. Ein Transport des Werkstücks wird vorausgesetzt, um einen Weg zu visualisieren. Die Darstellung ist demnach ungeeignet für Prozessketten, die nur an einer Werkzeugmaschine ausgeführt werden. Der Abstraktionsgrad muss außerdem so gewählt werden, dass die Geometrierepräsentation mit den Bearbeitungsstellen an der Werkzeugmaschine assoziierbar ist. Aus diesem Grund eignet sich die Visualisierung des Pfades nur

bedingt für eine VR-Anwendung zur Bewertung von Prozessketten. Die Darstellungsvariante setzt Anwendungsbereiche voraus, in denen Wege oder Distanzen mit Energiekennwerten assoziierbar sind. Sie ist folglich besser in der Logistik- und Fabrikplanung anwendbar, da hier neben anderen Informationen vor allem Positionen und Wege des Transportgutes (z. B. Werkstücke) von Interesse sind.

3 Varianten bei der VR-Visualisierung

Nach der Datenanalyse hinsichtlich des Verwendungszwecks, der Art des Datensatzes und den Eigenschaften des darzustellenden Zielobjekts stehen verschiedene Möglichkeiten für die VR-Visualisierung zur Auswahl. Diese untergliedern sich in zwei Hauptmöglichkeiten. Zum einen kann bestehende Bauteilgeometrie zur Abbildung von Kennwerten verwendet und zum anderen zusätzliche Geometrie eingeführt werden.

3.1 Verwendung bestehender Geometrie

Durch die Notwendigkeit, dass eine Geometrie zur Repräsentation des Bilanzierungsobjekts für die VR-Visualisierung benötigt wird, besteht grundsätzlich immer die Möglichkeit, diese Geometrie auch für die Abbildung von Datenwerten zu benutzen. Die Prinzipien der wissenschaftlichen Visualisierung (Bild 1) können hier sinnvoll angewendet werden. Im Rahmen von Fragestellungen der Energieeffizienz sind Temperaturen oder Spannungen Beispiele für Kennwerte, die direkt am Bauteil dargestellt werden können. Eine Falschfarbenstellung wird häufig verwendet, um die berechneten Kennwerte zu visualisieren. Zusätzliche Techniken der wissenschaftlichen Visualisierung, wie das Verformen der Geometrie oder das Verwenden von Texturen, werden benötigt, um Informationen noch zugänglicher bzw. interaktiver zu gestalten.

Wie bereits im Abschnitt 2.3.1 erläutert wurde (Bild 2), sind elektrische Energiekenngrößen nicht automatisch mit einer geometrischen Repräsentation verknüpfbar, da keine exakten Positionen hierfür vorliegen. Bauteile als Energieverbraucher können trotzdem näherungsweise identifiziert werden, so dass eine Einfärbung von Bauteilen entsprechend ihres Energiekennwertes ermöglicht wurde. Die praktische Umsetzung aus [5] bzw. [6] ergab, dass der größte Nachteil dieser Variante in der Darstellung von nur jeweils einem Kennwert zur gleichen Zeit liegt, obwohl die gleichzeitige Darstellung von Blind-, Schein- und Wirkleistung benötigt wird. Die Informationsvisualisierung ist demzufolge besser zur Visualisierung dieses Sachverhaltes geeignet.

3.2 Verwendung zusätzlicher Geometrie

Ein abstrakter Datensatz ohne räumlichen Bezug muss für die VR-Visualisierung geometrisch interpretiert werden. Wenn keine Geometrie vorliegt, wird zusätzliche Geometrie eingeführt, so dass der Datensatz visuell erfasst werden kann. Die zwei Darstellungsvarianten Balken- und Sankey-Diagramm wurden für den Anwendungsfall der Visualisierung von elektrischer Energie betrachtet.

Balkendiagramm

Die Messdaten von elektrischer Energie werden prinzipiell ohne Position des Verbrauchers abgenommen. Die einfache Verwendung eines Balkendiagramms im virtuellen Raum setzt diese allerdings voraus. Es wurden verschiedene Messpositionen festgelegt, so dass diese annähernd dem tatsächlichen Verbraucher entsprechen. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Übersichtlichkeit durch Verdeckungen und nicht exakte Zuordnungen stark leidet. Obwohl durch diese Darstellungsvariante die gleichzeitige Visualisierung von mehreren Kennwerten pro Bauteil ermöglicht wird, überwiegt der große Nachteil, dass im virtuellen Raum nicht präzise erkannt werden kann, welche Kennwerte welchem Verbraucher zugeordnet sind. Ein Mehrwert gegenüber einer üblichen Tabellen- oder Diagrammdarstellung konnte nicht festgestellt werden.

Sankey-Diagramm

Eine Interpretation des 2D-Sankey-Diagramms als etablierte Darstellungsvariante zur Veranschaulichung von Stoff- bzw. Energieflüssen (siehe [4]) wurde für den virtuellen Raum entwickelt. Hierfür wurde eine Datenstruktur implementiert, die ebenfalls die Messdaten mit ihren jeweiligen geometrischen Positionen assoziiert [4], [6], [7]. Durch das Sankey-Prinzip werden die Messpositionen zusätzlich um die Abhängigkeiten untereinander ergänzt. Somit ist es möglich, einen abstrahierten Energiefluss auf Basis der Messungen abzubilden (s. a. Bild 2). Ein großer Vorteil dieser Darstellung liegt in der Kenntlichmachung der Abhängigkeiten zwischen den Verbrauchern. Im Gegensatz zu den Balkendiagrammen entsteht wieder die Problematik bei der Darstellung von verschiedenen Kennwerten. Verdeckungen und eine allgemeine Unübersichtlichkeit sind die Folge. Die Abbildung der Verbraucherverhältnisse führt dagegen zu einem Mehrwert im Vergleich zur bisherigen Darstellungsweise. Der Zugang bzw. das Verständnis wird mittels farblicher Kodierung und visueller Aufbereitung der Verknüpfungsinformationen von zusätzlicher Geometrie mit den Messwerten erleichtert. Eine schnellere Entscheidungsfindung kann hierdurch erreicht werden.

4 Ausblick

Basierend auf den vorgestellten Überlegungen ergibt sich generell die Fragestellung nach der automatisierten Visualisierung eines abstrakten Datensatzes. Es werden zusätzliche Anwendungsfälle unter dem Aspekt der Energieeffizienz aus anderen Fachbereichen, wie etwa der Betriebswirtschaftslehre analysiert und visualisiert, um so im weiteren Projektverlauf eine automatische Methode zu entwickeln, die es ermöglicht, aus einem gegebenen Datensatz mit dem Hintergrund der Energieeffizienz eine automatisierte Visualisierung zu erstellen.

Im speziellen Anwendungsfall der Visualisierung von elektrischer Energie wird unter der Voraussetzung, dass die Sankey-Darstellung als Ansatz weiter verfolgt wird, eine automatisierte Technik zur übersichtlichen Visualisierung verschiedener Kennwerte entworfen. Da jeder Wert einen eigenen Graphen bildet, müssen die Kodierung mehrerer Werte auf einen Diagrammzweig, eine automatisierte Anordnung der Diagrammstruktur zur Beibehaltung der Übersichtlichkeit oder eine Visualisierung in Kombination mit der Bauteileinfärbung als mögliche Lösungsansätze fokussiert werden.

Acknowledgment

Die Autoren danken der europäischen Union (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung des Spitzentechnologieclusters „Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik“ (eniPROD[®]).



Literaturangaben

- [1] Keim, D.; Andrienko, G.; Fekete, J.-D.; Görg, C.; Kohlhammer, J.; Melançon, G.: *Visual Analytics: Definition, Process, and Challenges*. In: Kerren, A. et al., *Information Visualization, LNCS 4950, Heidelberg, 2008, S. 154-175*
- [2] Neugebauer, R.; Wittstock, V.; Meyer, A.; Glänzel, J.; Schumann, M.: *Adaptive Finite-Elemente-Methode zur Lösung spezieller Auslegungsprobleme des Maschinenbaus und zur Erweiterung von Virtual Reality-Technologien*. in: *9. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, Paderborn, Juni 2010, S. 79-95*

- [3] Telea, A.; Voinea, L.; Sassenburg, H.: "Visual Tools for Software Architecture Understanding: A Stakeholder Perspective", *Software, IEEE* , vol.27, no.6, pp.46-53, Nov.-Dec. 2010, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MS.2010.115>
- [4] Sankey, H. R.: *The Thermal Efficiency of Steam-Engines*. In: *M.P.I.C.E. Vol. 125*, 1896, S. 182-242
- [5] Neugebauer, R.; Meyer, A.; Wittstock, V.; Glänzel, J.; Pätzold, M.; Schumann, M.: *VR-tools for the Development of Energy-Efficient Products*. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2011, CIRPJ_CIRPJ-D-10-00119
- [6] Neugebauer, R.; Wittstock, V.; Glänzel, J.; Pätzold, M.; Schumann, M.: *VR-tools for the Development of Energy-Efficient Products*. In: *Neugebauer, R.: Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik*, Chemnitz, 2010, S. 657-676
- [7] Wittstock, V.; Pätzold, M.; Schumann, M.; Glänzel, J.: *VR-Entwicklungswerkzeuge zur Bewertung energieeffizienter Produkte und Prozesse*. In: *8. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik*, Magdeburg, 2010, S. 79-84