

Wechselwirkungen mit der Umwelt – 40 Jahre Gesellschaft für Umweltsimulation

Karl-Friedrich Ziegahn¹

Kurzfassung

Technische Erzeugnisse, Bauteile und Werkstoffe und darüber hinaus auch biologische Systeme wie Pflanzen, Tiere und Menschen unterliegen in ihrem gesamten Lebenszyklus verschiedenen Umgebungs- oder Umwelteinflüssen, die ihre Funktions- und Leistungsfähigkeit sowie ihre Lebensdauer beeinflussen. Mit Methoden der Umweltsimulation versucht man die Wirkungen der Umwelt auf das betrachtete Objekt zu erfassen, um schon früh im Entwicklungsgang dessen späteres Verhalten vorherzusehen und im Hinblick auf seine Qualität, Zuverlässigkeit und Lebensdauer und damit auf eine nachhaltige Produktkonstruktion zu optimieren.

Die Fachkenntnisse hierzu entwickelten sich zunächst aus der Erfahrung mit realen Produkten in einer realen Umwelt sowie dem Bestreben, dieses Wissen für die Gestaltung der Umweltsimulationsmethoden abzuleiten. Gekennzeichnet war diese empirische Vorgehensweise schon frühzeitig von der Notwendigkeit, das gewonnene Wissen disziplinübergreifend auszutauschen. Obwohl die Anfänge der Umweltsimulation bis an den Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts zurückreichen, trugen insbesondere die Erkenntnisse aus den großen Kriegen, der beginnenden Luft- und Raumfahrt und die wachsende Globalisierung mit dem weltweiten Absatz von technischen Erzeugnissen dazu bei, die Umweltsimulation systematisch und wissenschaftlich zu entwickeln. In den führenden Industrieländern entstanden in den fünfziger und sechziger Jahren entsprechende Fachorganisationen und auch in Deutschland wurde 1969 mit der Gründung der Gesellschaft für Umweltsimulation e.V. eine geeignete Plattform für den fachlichen Austausch geschaffen. Seither hat sich die Gesellschaft zur maßgeblichen Organisation in diesem Fachgebiet entwickelt, die mit ihren Arbeitsgruppen, Schriften, Tagungen und Veranstaltungen sowie ihrer internationalen Einbindung den technischen Fortschritt in der Umweltsimulation fördert.

Entwicklung der Umweltsimulation

Die Umweltsimulation, wie sie seit mehreren Jahrzehnten in der Fachwelt bezeichnet wird, zielt auf die Verbesserung von Produkten ab, die sich unter gegebenen Umweltbedingungen, das heißt Einflüssen aus der Umgebung, einwandfrei verhalten sollen. Es begann schon in der ersten Hälfte des vergange-

¹ Dr.-Ing. Karl-Friedrich Ziegahn, Forschungszentrum Karlsruhe, Präsident der Gesellschaft für Umweltsimulation e.V.

nen Jahrhunderts, als Hersteller elektrotechnischer Erzeugnisse beispielsweise die damals neue Technik des Fernmeldewesens für den Export in ferne Länder untersuchten und sie dazu in so genannten Tropenkammern vielfältigen Prüfungen unterzog. Zunächst waren es hohe oder tiefe Temperaturen verbunden mit hoher oder niedriger Luftfeuchte, deren Wirkungen untersucht wurden. Später kamen mit der beginnenden Luftfahrt und während des Krieges in Deutschland mit der sich entwickelnden Raketentechnik neue Anforderungen hinzu. Beispielsweise wurden schon in den 40er Jahren in der Versuchsanstalt Peenemünde bei der Entwicklung des A4 Aggregats (besser bekannt unter dem Kürzel V2) „Rütteltische“ eingesetzt, um die mechanischen Steuergeräte für den Einsatz an Bord der Raketen zu qualifizieren beziehungsweise Fehler rechtzeitig vor dem Einsatz zu erkennen.

Es war wohl dem Kreis von Experten zu verdanken, der mit seinem Erfahrungsschatz aus den Nachkriegsjahren die Entwicklung der Umweltsimulation sehr stark befruchtet hat, welcher schließlich Ende der sechziger Jahre auch die Gründung der GUS (Gesellschaft für Umweltsimulation) betrieben hat. In diesen Jahren kam es aber auch zu den heftigen Debatten zwischen den pragmatisch ausgerichteten Prüfsingenieuren der Umweltsimulation einerseits und den wissenschaftlich orientierten Experten der Betriebsfestigkeit andererseits. Letztere bemühten sich, auf der Ebene der Werkstoffe Schädigungsmechanismen durch zyklische mechanische Belastungen zu verstehen und Berechnungsverfahren für das Materialversagen zu entwickeln.

Die Umweltsimulation befasst sich jedoch mit dem fertigen Produkt, einem komplexen Gebilde, welches aus verschiedenen Werkstoffen besteht, die mit unterschiedlichen Befestigungs- und Fügeverfahren zusammengebaut werden und trotzdem zuverlässig funktionieren und eine hohe Haltbarkeit aufweisen sollen. Um dies zu gewährleisten, wurden die Prüfobjekte in geeigneten Simulationsanlagen einer simulierten Umwelt ausgesetzt, hauptsächlich Wärme, Feuchtigkeit und mechanischen Schwingungen. Welche Umgebungsbedingungen dabei besonders wichtig sind und in welcher Intensität sie nachgebildet werden müssen, war und ist eine der Grundaufgaben der Umweltsimulation. Typisch in den frühen Zeiten waren harte Prüfbedingungen, unter denen die Bauteile und Komponenten ähnlich wie in Festigkeitsprüfungen häufig bis zum Versagen beansprucht wurden. Beispielsweise wurden Schwingungsbelastungen aufgebracht, bis das Produkt entweder zerfiel oder unbeschadet aus dem Test kam. Diese „Go / No go“-Prüfresultate konnten natürlich den ambitionierten Materialforscher nicht zufrieden stellen, der gerne an seinen Schadensakkumulationshypothesen weiterarbeiten wollte.

Die Dualismus zwischen den reinen Wissenschaftlern und den viel gerühmten „Praktikern“ schien lange Zeit prägend, jedenfalls so groß zu sein, dass sich die jeweiligen Fraktionen auf getrennten Tagungen trafen und leidenschaftlich im Kreise von Gleichgesinnten ihre jeweiligen Positionen bekräftigten. Ähnliche Separierungen taten sich auch zwischen den beiden Urtypen der Umweltsimulation auf: den Klimaprüfungen einerseits und den Schwing- und Stoßprüfungen

andererseits. Lange Zeit existierten sie nebeneinander her und erst mit dem zunehmenden Einsatz von Kombinationsprüfanlagen, wie mechanische Shaker mit Klimahaube, erwuchs die Notwendigkeit, dass einer die Prüfprobleme der anderen Seite verstehen muss, wenn er zu sinnvollen Simulationsprogrammen kommen sollte.

Von der reinen Prüftechnik zur wissenschaftlichen Auseinandersetzung

Die Auseinandersetzung über das ‚richtige Maß‘ an Umweltsimulation bestimmte bis in die achtziger Jahre die fachlichen Diskussionen. Neben den technisch anspruchsvollen und von Sicherheitsaspekten bestimmten Branchen der Luft- und Raumfahrt und der Wehrtechnik begannen neue Anwenderkreise die Umweltsimulation zu nutzen. Vor allem die Automobilindustrie, die zunehmend Elektronik und neue Materialien in sicherheitsrelevanten Bereichen einsetzte, musste sich im Hinblick auf Gewährleistungs- und Haftungsfragen mit der Zuverlässigkeit unter teilweise harschen Einsatzbedingungen auseinandersetzen. Das sichere Funktionieren von ABS, Airbag und Motorelektronik wurde eine Herausforderung, die zur Übernahme von Methoden und Technologien der Umweltsimulation führte. Aber durch die Automobilindustrie mit hohen Anforderungen an wirtschaftliche Effizienz entwickelte sich auch ein massiver Druck auf die Kostenseite der Umweltsimulation.

Der eigentliche Treiber der letzten zwei Jahrzehnte aber waren einerseits die Kosten und andererseits das Prinzip des „Test Tailoring“. Beide hängen eng miteinander zusammen, denn es waren letztlich die über alle Grenzen gewachsenen Aufwendungen, die den Weg zur maßgeschneiderten Prüfung wiesen. Test Tailoring wurde Anfang der 80er Jahre in den USA als neuartige Prüf-„philosophie“ entwickelt. Die traditionellen Prüfungen der Umweltsimulation waren im Laufe der Jahre sehr anspruchsvoll geworden, wobei insbesondere die Schärfegrade der Prüfungen zugenommen hatten, so dass mehr und mehr die Prüflinge, also die zu testenden Produkte, weiterentwickelt werden mussten, um Prüfbedingungen zu erfüllen, die nicht mehr einen unmittelbaren Bezug zur Realität hatten.

Test Tailoring sollte den Rückweg zur naturwissenschaftlichen Basis öffnen, das heißt, die Prüfbedingungen wieder an die reale Welt ankoppeln. Das Prinzip wurde umgesetzt, indem man wieder die tatsächlichen Belastungen im Lebensweg eines technischen Erzeugnisses ermittelte, um darauf aufbauend mit technisch nachvollziehbaren und einsichtigen Begründungen die tatsächlich notwendigen Prüfbedingungen abzuleiten.

Daraus ergab sich zweierlei: Erstens muss nun der Prüfsachverständige wieder seinen eigenen Sachverstand benutzen, um die Prüfungen zu gestalten. Zweitens wurden die alten, überkommenen und zumeist noch nicht mal mehr nachvollziehbaren Prüfbedingungen der früheren Prüfprogramme, die so genannten

„Kochbücher“ ad acta gelegt. Zwar wurde dadurch der Aufwand größer, ehe man mit der Qualifikationsprüfung beginnen konnte, aber unter dem Strich ergaben sich bemerkenswerte Einsparungen im Entwicklungsgang des Prüflings, weil unnötig scharfe – und damit kostspielige – Anforderungen vermieden werden konnten. So einfach diese Denkweise klingt und so plausibel sie aus heutiger Sicht auch wirkt, waren jedoch große Hindernisse zu überwinden:

Tailoring erfordert einen Paradigmenwechsel vom reinen, im Prinzip unkritischen Anwenden einer Prüfvorschrift hin zu einem durch eigenen Sachverstand abgeleiteten Prüfprogramm, dessen einzelne Prüfbedingungen begründbar und nachvollziehbar gewählt werden mussten. Der Verlust an Standardisierung wurde durch den Gewinn an Aussagekraft der Prüfungen mehr als kompensiert. Dennoch dauerte es einige Jahre, ehe das Prinzip auf breiter Basis Anerkennung fand.

Darüber hinaus beflügelt das Tailoring-Prinzip die systematische Untersuchung der Wirkungen von Umgebungsbelastungen auf Werkstoffe und technische Erzeugnisse. Um Prüfschärfen und Prüfreihefolgen, vor allem im Hinblick auf die Zeitraffung, vernünftig begründen zu können, ist es unabdingbar, spezifische Ursache-Wirkungsbeziehungen zu verstehen. Im Bereich der mechanisch-dynamischen Umwelteinflüsse schloss sich jetzt der Bogen zwischen Betriebsfestigkeit und mechanischer Umweltsimulation: Einerseits ging es darum, die tatsächlich auftretenden Schwingungen und Stöße besser zu erfassen und zu beschreiben, beispielsweise in Form von spektraler Beschleunigungsdichte oder einem Schockantwort-Spektrum; andererseits muss man die Wirkung von dynamischen Belastungen auf einen Körper mit Hilfe von Ermüdungshypothesen, etwa neben dem guten alten Wöhler-Gesetz die Miners-Hypothese zu Schadensakkumulation betrachten.

In den Fachtagungen der Umweltsimulation gewannen fächerübergreifende Beiträge an Bedeutung, das heißt, es wurde nach Antworten auf die Fragestellungen der kombinierten Prüfungen gesucht. Klimaprüfer und Schwingprüfer mussten sich verständigen, um eine ganzheitliche Bewertung der Umweltprüfungen vornehmen zu können. Der Verständigungsprozess zwischen den Vertretern der wissenschaftlichen Institute und den Praktikern der Prüflabors schreitet seither voran und entwickelt die Umweltsimulation als Fachdisziplin auf ein beachtliches Niveau. Eine Bilanz dieser Entwicklung aus fachlicher Sicht wurde bereits 2003 dargestellt.²

² K.-F. Ziegahn, H. Schubert: Wissenschaftlicher Fortschritt in der Umweltsimulation: Was wurde erreicht und wohin führt die Entwicklung? GUS Jahrestagung 2003

Die Beiträge der Gesellschaft für Umweltsimulation

Mit der Entwicklung der Umweltsimulation haben sich Wissens- und Erkenntnisstand deutlich verbessert. Folgende Feststellungen charakterisieren den Stand heute:

- Die Umweltsimulation wird heute ganzheitlicher angegangen, d.h. den Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Umgebungsbedingungen wird Rechnung getragen
- Die Charakterisierung der Umgebungsbedingungen ist umfangreicher und detaillierter; es sind mehr und bessere Daten sowohl im Klima- wie auch im Schwingungsbereich und bei den anderen Umgebungsbedingungen verfügbar
- Die Kenntnis über Wirkungen, insbesondere durch Abbau-, Zersetzungs-, Korrosions-, Ermüdungs- und Alterungsvorgänge wurde deutlich verbessert
- Grundlegende Dosis-Wirkungsbeziehungen sind zumindest in Ansätzen verfügbar
- Untaugliche Ansätze zur Zeitraffung wurden in Fachkreisen zurückgedrängt
- Die so genannte numerische Umweltsimulation, auch virtuelles Testen genannt, gewinnt derzeit rapide an Erkenntnissen – Nutzen und Risiken müssen hier aber sorgfältig abgewogen werden
- Die Bedeutung der Umweltsimulation wird im Entwicklungsprozess eher beachtet, auch wenn hier noch keineswegs ein Optimum erreicht worden ist.

Die GUS hat diese Entwicklung sehr stark beeinflusst. Es waren nicht zuletzt die Denkschulen der früheren verantwortlichen Vorstände und Vordenker der GUS, die diesen Weg vorgezeichnet haben: Prof. Dr. Hiltmar Schubert, Eberhard Ranitzsch und Dr.-Ing. Diether Schmitt, die das ganzheitliche Denken gefordert und vorgelebt haben, Karl-Heinz Hansen, der in unnachahmlicher Weise den kritischen Umgang mit den Phänomenen der Schwingungsanalyse und der Schwingprüfung gelehrt hat, Prof. Dr.-Ing. Klaus Grefen, der die GUS auf den Weg zur atmosphärischen und von Luftqualitätsaspekten gekennzeichneten Umweltsimulation geführt und die Türen zum VDI aufgestoßen hat sowie viele weitere engagierte Experten, die den Mitgliedern der GUS ihr Wissen weitergegeben haben.

Die GUS hat mit der Einrichtung von Arbeitskreisen, mit der Quervernetzung zu anderen Organisationen und mit einer engen Rückkopplung zu Standardisierungs- und Normungsaufgaben dazu beigetragen, dass das Anwenderwissen in einer ausgewogenen Balance mit den Erkenntnissen der wissenschaftlichen Forschung rückgekoppelt werden konnte. Eine große Rolle spielte dabei auch,

dass hier branchenübergreifend zusammengearbeitet wurde. Wichtige Ergebnisse aus der Automobiltechnik, der Wehrtechnik, der Luft- und Raumfahrt, der Elektrotechnik und Elektronik und vielen anderen Anwendungsbereichen werden bei den Tagungen der GUS immer im Plenum zusammengeführt. Ein Abschotten zwischen einzelnen Anwendergruppen sollte immer verhindert werden, auch zwischen Klima- und Schwingprüfungsexperten, auch zwischen Herstellern und Anwendern von Mess- und Prüftechnik.

Umweltsimulation ist per se eine interdisziplinäre Aufgabe. Sie ist mehr denn je gefordert, zur Robustheit von Produkten beizutragen. Hier gilt es, die Kenntnisse der verschiedenen Experten zusammenzuführen, auch um unter dem Gesichtspunkt des schonenden Umgangs mit den Ressourcen den vorzeitigen Verschleiß, das unnötige Versagen oder eine frühzeitige Alterung zu vermindern oder zu vermeiden. Die Nachhaltigkeit in der Produktkonstruktion kann mit Methoden der Umweltsimulation entscheidend verbessert werden.

Die GUS hat sich schon frühzeitig auf eine internationale Zusammenarbeit in ihrem Fachgebiet konzentriert. Mit der 1984 erfolgten Gründung der „Confederation of European Environmental Engineering Societies“ (CEEES), zu deren Mitbegründern die GUS gehörte, und der offiziellen Registrierung dieses europäischen Dachverbandes in Brüssel wurde ein entscheidender Schritt auf die europäische Ebene vollzogen. Die CEEES ist mittlerweile auf 12 nationale Fachgesellschaften angewachsen und steht vor einem weiteren Zuwachs aus mehreren Mitgliedsstaaten der EU. Arbeitsgruppen der CEEES, gemeinsame Fachtagungen, Projekte aus EUREKA und anderen Programmen sowie die zweimal jährlich stattfindenden Versammlungen haben den fachlichen Kontakt zwischen den Experten in Europa in fruchtbarer Weise intensiviert. Enge Verbindungen bestehen auch zur europäischen Normung bei CEN und CENELEC, zum europäischen Dachverband zur Luftqualität „European Federation of Clean Air and Environmental Protection Associations“ (EFCA). Mit dem „European Weathering Symposium“ (EWS) setzen die GUS und die CEEES erfolgreich die Reihe der traditionellen „Donauländergespräche“ zum Bestrahlen und Bewittern von Werkstoffen fort.

Eine besondere Verbindung besteht seit vielen Jahren zum „Institute of Environmental Sciences and Technology“ (IEST) in den USA. Dort wurden vor allem in den siebziger und achtziger Jahren entscheidende fachliche Weichen in der Umweltsimulation gestellt und damals war es aus europäischer Sicht ein ‚Muss‘, daran teilzunehmen. Zwar hat sich die Zusammenarbeit inzwischen etwas gelockert, vor allem, weil das IEST nicht den europäischen Fachgesellschaften bei der Erschließung neuer, nicht-militärischer Anwenderkreise gefolgt ist, aber bei wehrtechnischen Anwendungen der Umweltsimulation ist die IEST immer noch ein wichtiger Ansprechpartner.

Ausblick auf die Zukunft

Nach den Fortschritten der vergangenen Jahre steht die Umweltsimulation vor neuen Herausforderungen und Entwicklungsstufen. Die Anwendung der Umweltsimulation außerhalb des Hochtechnologiesektors ist weiter auszubauen. Die Umweltqualifikation wird für den Mittelstand zugänglich zu machen sein, insbesondere, was Umfang, Dauer und Kosten betrifft. Die Echtzeit-Erfassung individueller Lebenszyklus-Profile durch technische Entwicklungen sind vor allem im Bereich kleiner, leistungsfähiger Messdaten-Sensoren, Recorder und Prozessoren zu erwarten: Die on-line/on-board Diagnose in Echtzeit wird zur Erfassung individueller Produkt-Lebenshistorien benötigt. Dies hat sowohl Bedeutung für die Lebensdauerverlängerung von militärischem Gerät wie auch für viele zivile Produkte, insbesondere, wenn sie mit Sicherheitsfragen verbunden sind wie beispielsweise Airbag-Systeme.

Die numerische Umweltsimulation, auch als „Virtual Testing“ bezeichnet, wird in ihrer Bedeutung zunehmen. Das numerische Simulieren ist beispielsweise in der Crash-Simulation schon lange ein wertvoller Beitrag zum Aussortieren von Lösungsvorschlägen und zur Verkürzung der Entwicklungszeit neuer Fahrzeuge. Die rechnerische Umweltsimulation wird mit wachsender Kenntnis der Ursache-Wirkungsbeziehungen ihre Prognosefähigkeit verbessern. Der reale Test wird aber zur Verifikation nach wie vor eine Schlüsselrolle einnehmen.

Die Umweltsimulation wird einen wachsenden Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten. Umweltsimulation trägt zur ressourcenschonenden Gestaltung von Produkten dadurch bei, dass Lebensdauer und Verschleiß optimiert werden. Dieses Bewusstsein setzt sich jetzt langsam durch, sowohl bei den Umweltlabors wie auch bei den Protagonisten einer nachhaltigen Entwicklung. Ein besonderes Beispiel hierfür ist der so genannte „Environmental Indicator“: Indikatoren, die den Lebensweg eines Produktes von der Herstellung bis zur Verwertung verfolgen, werden zukünftig eine wachsende Rolle bei der ganzheitlichen Produktbewertung spielen; ihre Bedeutung wird insbesondere mit der zukünftigen Umweltpolitik auf europäischer Ebene wachsen

Voraussetzung für diese Entwicklungen aber ist eine zunehmende wissenschaftliche Bearbeitung der Umweltsimulation, eine systematische Forschungsinitiative, die gemeinsam von den Herstellern der Anlagen zur Umweltsimulation, von den Anwendern und von den wissenschaftlichen Einrichtungen getragen wird. Die GUS wird hierbei ihren Beitrag leisten.

Anlage: Auszüge aus der Präsentation