

Kontextmodellierung für adaptive webbasierte Systeme

Jürgen Ziegler, Steffen Lohmann, J. Wolfgang Kaltz¹

Institut für Informatik und Interaktive Systeme, Universität Duisburg-Essen

Zusammenfassung

Adaptive Web-Anwendungen erfordern die Berücksichtigung von Kontext zur Anpassung von Inhalten, Navigationsstrukturen und Präsentationsformen. Für eine systematische Entwicklung kontextadaptiver Systeme sind Methoden der Kontextmodellierung erforderlich, die die komplexen Abhängigkeiten beschreiben. In diesem Beitrag wird ein konzeptioneller Rahmen vorgestellt, der auf einer Taxonomie der verschiedenen Kontextaspekte basiert. Darüber hinaus werden unterschiedliche Mechanismen der Kontextualisierung diskutiert, die von probabilistischen Verfahren bis zu regelbasierten Techniken reichen.

1 Einleitung

Benutzer interaktiver Systeme, insbesondere webbasierter, werden mit einer zunehmend steigenden Menge an Informationen konfrontiert. Diese „content explosion“ (Monaco et al. 2001) beansprucht die kognitiven Ressourcen des Benutzers in erheblichen Umfang, da er in jeder Situation entscheiden muss, welche Relevanz die ihm dargebotenen Informationen besitzen. Darüber hinaus differenzieren sich die Interaktionssituationen gerade im Bereich webbasierter Systeme immer stärker: Spezielle Eigenschaften des Endgeräts oder wechselnde Aufenthaltsorte des Benutzers (Forman & Zahorjan 1994) determinieren den Interaktionskontext. Mobile Szenarien sind geprägt von zeitlicher Knappheit, geringen Bandbreiten und weniger leistungsstarken Endgeräten. Zukunftsweisende Systemlösungen sollten den Benutzer unterstützen, indem sie die angebotenen Inhalte und Dienste sowie die Navigationsstrukturen kontextbezogen adaptieren.

¹ Diese Arbeit wird unterstützt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter der Projektnummer 01ISC30F (Projekt WISE).

Gegenwärtig beschäftigen sich zahlreiche Forschungsarbeiten mit Mechanismen, die die Erkennung von Kontext und geeignete Anpassungen des Systems zum Schwerpunkt haben (z.B. Dey et al. 2004; Schmidt 2002). Es mangelt jedoch bislang an einem systematischen Context-Engineering-Ansatz, der die generelle Berücksichtigung von Kontext bereits im Entwicklungszyklus von Systemen integriert. Insbesondere fehlt eine umfassende Modellierungsmethodik als wichtige Voraussetzung für die Etablierung eines solchen Context-Engineering-Ansatzes.

Im Folgenden entwerfen wir einen konzeptionellen Rahmen für eine Kontextmodellierung und diskutieren unterschiedliche Ansätze der Kontextualisierung. Im Fokus steht die Kontextmodellierung in webbasierten Systemen, wobei sich die hier erläuterten Verfahren prinzipiell auf beliebige kontextadaptive Anwendungen übertragen lassen.

2 Kontextkategorien und Szenarien

Die in den unterschiedlichen Forschungsrichtungen verwendeten Kontextbegriffe unterscheiden sich meist erheblich. Allgemein definiert McCarthy (1993, S. 5) Kontext als „generalisation of a collection of assumptions“. Für den Bereich der Mensch-Computer-Interaktion schlagen Dey et al. (2001, S. 11) folgende Definition vor: „Context [is] any information that can be used to characterize the situation of entities (i.e. whether a person, place or object) that are considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and the application themselves.“

Auf eine wichtige Differenzierung weist Winograd (2001) hin, indem er zwischen „Setting“ und aktuellem Kontext unterscheidet. Das „Setting“ bezeichnet demnach die Menge aller in einer Situation kennzeichnenden Umgebungsfaktoren, während sich der Kontext auf die tätigkeitsrelevanten Teile dieser Umgebung beschränkt. Des Weiteren muss zwischen der Menge aller möglichen Kontextzustände und dem zu einem bestimmten Zeitpunkt gültigen Zustand des Kontextes unterschieden werden.

Dementsprechend muss eine umfassende Kontextmodellierung alle relevanten Kontextzustände abbilden, von denen jeweils nur ein Teil in einer bestimmten Situation aktiviert ist. Da die Menge aller Kontextzustände prinzipiell unendlich ist (Brézillon 2003), wird jeglicher Ansatz der Kontextmodellierung nur einen Ausschnitt des Kontextes erfassen können. Deshalb ist neben der Menge des berücksichtigten Kontexts vor allem die Relevanz des modellierten Ausschnitts in Bezug auf den jeweiligen Anwendungsfall entscheidend für die Qualität der Systemadaption. In vielen nicht-mobilen Szenarien beispielsweise macht die Modellierung und Ermittlung von Informationen zum Aufenthaltsort des Benutzers wenig Sinn. Aus diesem Grund erhält die vorherige Analyse potenziell auftretender Anwendungsfälle und Kontextsituationen bei der Kontextmodellierung ein starkes Gewicht. Letztlich muss ein umfassender Modellierungsansatz die gesamte Bandbreite aller möglicherweise relevanten Kontextfaktoren berücksichtigen.

2.1 Kategorisierung von Kontextfaktoren

Eine Kontextmodellierung, die die soeben beschriebenen Anforderungen erfüllt, wird leicht sehr umfangreich und komplex und kann Ansprüchen nach Verständlichkeit und Handhabbarkeit nur bedingt genügen. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, den Interaktionskontext zu strukturieren, indem Kontextfaktoren in unterschiedliche Perspektiven oder Kategorien eingeteilt werden. Für den Bereich adaptiver Web-Anwendungen erscheinen uns insbesondere die folgenden Kategorien wesentlich:

- **Benutzer&Rolle:** In dieser Kategorie werden entweder individuelle Benutzer oder aber Gruppen von Benutzern anhand ihrer unterschiedlichen Rollen definiert. Dabei kann eine explizite Auswahl und Zuordnung des Benutzers während der Systemverwendung erfolgen oder eine Eingruppierung auf Basis der Beobachtung des Nutzerverhaltens vorgenommen werden.
- **Aufgabe:** Diese Kategorie umfasst den zielbezogenen Kontext wie Arbeitsaufgaben oder persönliche Zielsetzungen bei der Nutzung von Websites z.B. beim Kauf von Waren.
- **Ort:** In dieser Kategorie werden Ortsmodelle beschrieben, in denen der physische Aufenthaltsort eines Nutzers eingeordnet werden kann. Dies kann auch die technische Lokation wie z.B. die Position im Netzwerk sein (beispielsweise die Unterscheidung zwischen Intranet und externem Zugriff).
- **Zeit:** Unter dieser Kategorie sind Zeitinformationen zusammengefasst, wie z.B. die Zeitzone des Clients, die aktuelle Zeit, eine virtuelle Zeit etc.
- **Gerät:** Geräteinformationen wie z.B. der Gerätetyp (Desktop PC, PDA), Display-Einstellungen etc. sind wesentlich für die Anpassung von Informationspräsentationen und Interaktionsmöglichkeiten und werden durch diese Kategorie abgedeckt.

Zusätzlich existiert immer ein Informationskontext, der die Position des Benutzers im Informationsbestand der Web-Anwendung beschreibt. Wie in Abschnitt 3 gezeigt wird, besteht die Kontextmodellierung in erster Linie in der Verbindung dieses Informationskontextes mit den Kontextfaktoren der genannten Kategorien.

Darüber hinaus werden gelegentlich weitere potentiell adaptionsrelevante Kontextaspekte wie z.B. Umgebungslicht und -lautstärke (Schilit et al. 1994) oder Kategorien wie z.B. der soziale Kontext (Gross & Specht 2002) genannt, deren Berücksichtigung in einigen Anwendungsfällen durchaus sinnvoll erscheint. Wie bereits erläutert, kann die Modellierung jedoch nicht alle Kontextaspekte berücksichtigen. Für die Kontextmodellierung in webbasierten Systemen erachten wir die hier vorgeschlagene Einteilung für zweckmäßig, da sie eine Menge bereichsspezifisch relevanter Kontextaspekte abdeckt. Nichtsdestotrotz muss eine Kontextmodellierung flexibel sein und die einfache Integration neuer Kontextaspekte gewährleisten.

2.2 Beispielszenario

Die Berücksichtigung von Kontext kann in den unterschiedlichsten Anwendungsfällen, wie z.B. Meeting-Unterstützungen (Dey et al. 2004) oder Museumsführern (Oppermann 2003), von Bedeutung sein. In Abhängigkeit vom Einsatzgebiet fallen die Gewichtungen der verschiedenen Kontextkategorien sehr unterschiedlich aus. In mobilen Anwendungen sind z.B. häufig Ortsinformationen von Bedeutung, in Recommender-Systemen stützt man sich hingegen v.a. auf Informationen, die den Benutzer charakterisieren. Werden weitere relevante Kontextfaktoren berücksichtigt, so verbessert dies i.d.R. die Adaptionleistung des Systems. Berücksichtigt ein Recommender-System bei der Erstellung von Empfehlungen beispielsweise zusätzlich zu den Informationen über den Benutzer auch zeitliche und örtliche Informationen, kann dies die Qualität der Empfehlungen erhöhen.

Im Folgenden wird die Modellierung des Einflusses von relevanten Kontextfaktoren auf Informationskonzepte der Anwendung thematisiert und anhand eines Beispielszenarios veranschaulicht. In diesem bildet die Kontextmodellierung die Basis für ein Recommender-System, das Teil einer E-Commerce-Anwendung ist und in Abhängigkeit des Interaktionskontextes dem Kunden geeignete Produkte anbietet.

3 Ansätze zur Kontextmodellierung

Die hier vorgeschlagene Kontextmodellierung orientiert sich an einer ontologiebasierten Repräsentation der inhaltlichen Konzepte und Beziehungen. Der Informationsbestand der Web-Anwendung wird in einer Domänenontologie und der Interaktionskontext in Teilontologien der in Abschnitt 2 eingeführten Kontextkategorien Benutzer&Rolle, Aufgabe, Ort, Zeit und Gerät abgebildet. Da Kontextinformationen zur Filterung von Inhalten und ggf. Diensten herangezogen werden sollen, ist es im Weiteren erforderlich, explizite Kontextualisierungsrelationen zwischen den Konzepten der Domänenontologie und den Kontextfaktoren einzuführen.

3.1 Kontextrelationen

Die Kontextualisierung von Inhalten kann anhand unterschiedlicher Abhängigkeiten geschehen. Diese im Folgenden beschriebenen Kontextrelationstypen repräsentieren gleichzeitig unterschiedliche Determiniertheitsgrade der Abhängigkeit.

3.1.1 Korrelative Kontextrelationen

Eine erste Möglichkeit der Modellierung von Beziehungen zwischen Konzepten innerhalb der Domänenontologie bzw. zwischen der Domänenontologie und Kontextfaktoren sind korrelative, auf statistischem Zusammenhang basierende Relationen. Diese sind nicht gerichtet und repräsentieren demnach keinen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Hierbei ist die

kontextbezogene Relevanz der verbundenen Konzepte symmetrisch. Besteht beispielsweise in einem Online-Buchshop eine korrelative Beziehung zwischen den Themen ‚Reisen‘ und ‚Sport‘ können sowohl im Kontext ‚Reisen‘ Sportbücher als auch im Kontext ‚Sport‘ Reisebücher angeboten werden.

Korrelative Kontextrelationen können explizit manuell modelliert werden, doch liegt der Gebrauch statistischer Verfahren auf der Hand. Diese führen häufig sogar zu besseren Ergebnissen, da sie Relevanzwerte für Kontextrelationen aufgrund von umfangreichen Datenmengen berechnen und nicht auf frei gewählten Annahmen des Modellierers beruhen. Beispielsweise könnte ein Modellierer versucht sein, das Produkt Gesichtscrème mit weiblichen Benutzern in Beziehung zu setzen, da eine solche Modellierung seiner stereotypen Vorstellung entspricht. Durch statistische Verfahren ließe sich womöglich feststellen, dass auch ein hoher Prozentsatz an Männern Gesichtscrème konsumiert - eine Ummodellierung wäre folglich ratsam. Statistische Verfahren decken ferner Beziehungen auf, die man mit „gesundem Menschenverstand“ gar nicht herleiten kann. Findet sich z.B. eine hohe Korrelation zwischen dem Kauf von Windeln und Bier (folgt man einer gängigen Data-Mining-Anekdote), sollte eine entsprechende Relation modelliert werden, auch wenn nicht ersichtlich ist, welche Ursachen dieser Zusammenhang hat.

3.1.2 Gerichtete Kontextrelationen

In vielen zu modellierenden Kontextbeziehungen werden rein korrelative Relationen nicht genügen. Im Normalfall nehmen Kontextfaktoren Einfluss auf Elemente der Domänenontologie und nicht umgekehrt. Es handelt sich hierbei um Ursache-Wirkungs-Relationen (Wirkrelationen), die eine Wirkrichtung aufweisen. Ist der Benutzer beispielsweise Sportler und ist es Sommer, so können Joggingschuhe eine hohe Relevanz besitzen. Im Modell wird dies durch Wirkrelationen zwischen den Konzepten ‚Sportler‘ und ‚Joggingschuhen‘ einerseits sowie ‚Sommer‘ und ‚Joggingschuhen‘ andererseits ausgedrückt (Abbildung 1).

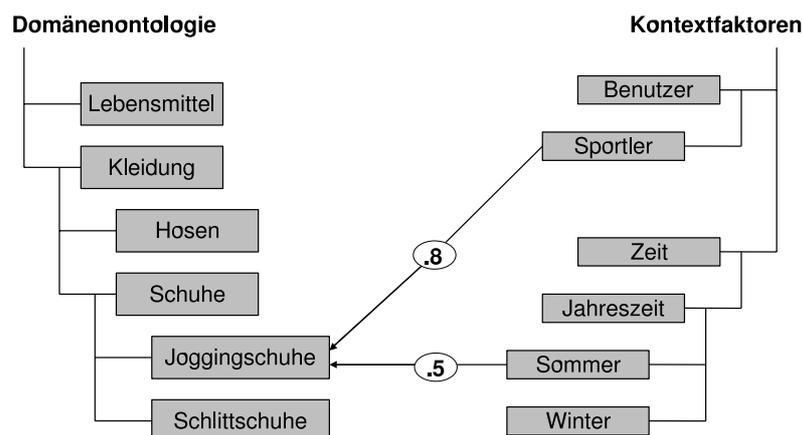


Abbildung 1: Kontextrelationen

Der Umkehrschluss hat nur bedingt Gültigkeit: Zwar lassen sich durch die Anwahl von Elementen der Domänenontologie durch den Benutzer in einigen Fällen auch Vermutungen über möglicherweise gegebene Kontextfaktoren anstellen, doch ist die Stärke der Relation in dieser Richtung sehr viel geringer. Hat ein Benutzer das Produkt Joggingsschuhe beispielsweise über die Navigation der Applikation angewählt und ist bisher jeglicher Benutzerkontext unbekannt, so kann allenfalls vermutet werden, dass der Benutzer sportlich interessiert ist – einen hohen Stellenwert sollte diese Schlussfolgerung allerdings nicht einnehmen; schließlich sind auch andere Gründe für das Interesse des Benutzers an Joggingsschuhen vorstellbar. Zudem wirken meist mehrere Kontextfaktoren auf ein Element der Domänenontologie, so dass sich die verschiedenen Kontextfaktoren gegenseitig verstärken – im umgekehrten Fall ist diese Verstärkung hingegen nicht gegeben.

Die hier eingeführten Wirkrelationen sind mit Wahrscheinlichkeiten behaftet. Sie müssen deshalb mit Wahrscheinlichkeitswerten beschrieben werden, die die Stärke des Einflusses widerspiegeln. Beispielsweise wird die Nutzerrolle ‚Sportler‘ eine größere Relevanz für die Empfehlung ‚Joggingsschuhe‘ haben als der Kontextfaktor ‚Sommer‘, da ein Sportler womöglich auch im Winter Joggingsschuhe kaufen möchte (Abbildung 1). Umgekehrt drücken niedrige Wahrscheinlichkeitswerte eine geringe Relevanz des Zielkonzeptes im gegebenen Kontext aus. Ist Winter und der Benutzer sportlich desinteressiert, sollte das Produkt Joggingsschuhe keine hohe Präsentationspriorität besitzen.

3.1.3 Regeln

Eine dritte Form von Kontextrelationen sind Regeln. Sollen dem Benutzer beispielsweise spezielle, im Preis reduzierte Produktangebote nur dann unterbreitet werden, wenn er sowohl Stammkunde ist als auch in eine bestimmte Alterskategorie fällt, nicht aber, wenn nur eine dieser Bedingungen erfüllt ist, so muss dies über eine entsprechende Regel definiert werden. Regeln müssen mit anderen Relationsarten und mit Wahrscheinlichkeitswerten kombinierbar sein. So ist beispielsweise vorstellbar, dass dem Stammkunden, der in die gewünschte Alterskategorie fällt, je nach Kontextsituation und nur unter einer gewissen Gesamtwahrscheinlichkeit die im Preis reduzierten Produktangebote unterbreitet werden.

3.2 Verarbeitung von Kontextinformationen

Im Regelfall wird die adaptive Auswahl eines Zielkonzeptes von mehr als einem Kontextkonzept abhängig sein. Ein Kontextmodell muss deshalb geeignete Verfahren bereitstellen, mit denen sich die Einflüsse der Kontextfaktoren berechnen lassen.

3.2.1 Probabilistische Verfahren

Die gerichteten Wirkeinflüsse von Kontextfaktoren lassen sich als bedingte Wahrscheinlichkeiten interpretieren, die nach dem Bayes’schen Theorem berechnet werden können. Bayes’sche Filter werden beispielsweise erfolgreich in E-Mail-Programmen zur Spamfilterung eingesetzt: Aufgrund charakteristischer Wörter einer E-Mail wird auf die Wahrscheinlichkeit, dass eine Spam-Mail vorliegt, geschlossen. Analog zu diesem Ansatz kann bei der

Kontextadaption auf Basis der Summe der Wahrscheinlichkeiten der einwirkenden Kontextfaktoren die Gesamtrelevanz eines Items berechnet werden. Abbildung 2 zeigt die probabilistische Verarbeitung von Kontextinformationen.

Der dargestellte Ansatz ermöglicht es, relevante Inhalte aufgrund des aktuell gültigen Kontextes zu ermitteln. Darüber hinaus ist von Interesse, Prognosen über Abfolgen von Zuständen im Kontext zu treffen, z.B. um Übergänge zwischen unterschiedlichen Aufgaben vorherzusagen. Hierzu können ebenfalls probabilistische Verfahren wie z.B. Hidden Markov-Modelle herangezogen werden.

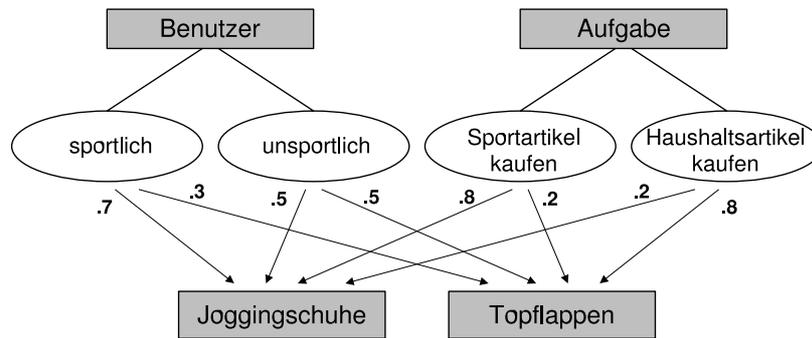


Abbildung 2: Probabilistische Verarbeitung von Kontextinformationen

3.2.2 Fallbasiertes Schließen

Für eine qualitative Kontextadaption sollte nicht nur der aktuelle Kontext, sondern sollten auch zurückliegende Kontextsituationen und darin ausgeführte Aktionen herangezogen werden (Dey et al. 2001). Wir nennen dies die diachrone Betrachtung von Kontext. Vorausgesetzt, vergangene Kontextsituationen und durchgeführte Adaptionen wurden strukturiert gespeichert, können diese herangezogen werden, um durch Fallbasiertes Schließen (Case-Based Reasoning) geeignete Anpassungen für die aktuelle Situation vorzunehmen. Einen Ansatz zur Verwendung von Case-Based Reasoning, um relevante Elemente aus großen Mengen von Kontextfaktoren zu filtern, verfolgen z.B. Mikalsen und Kofod-Petersen (2004).

3.3 Propagierungsmechanismen

Ein umfassender, systematischer Context-Engineering Ansatz ist insbesondere für umfangreiche Anwendungen von Bedeutung, wie beispielsweise E-Commerce Systemen mit einer sehr großen, differenzierten Produktpalette. In solchen Fällen ist es nicht zweckmäßig, für jedes Produkt von Hand alle denkbaren Beziehungen zu verschiedenen Kontextfaktoren zu modellieren. Dies hätte einen kaum vertretbaren Zeitaufwand zur Folge.

Deshalb sehen wir einen möglichen Ansatz darin, Kontextrelationen und Regeln in Konzepthierarchien zu vererben. Beispielsweise kann die Kontextrelevanz einer Produktgruppe auf alle subsummierten Produkte propagiert werden. Darüber hinaus versprechen Mechanismen wie Spreading Activation (Collins & Loftus 1975) Potenzial, um kontextbezogene Aktivierungen von einem Konzept auf benachbarte Konzepte zu propagieren. So können z.B. von einem, als relevant markierten, Inhaltskonzept ausgehend, Aktivierungen auf Konzepte übertragen werden, die mit diesem in semantischer Beziehung stehen. Dabei nimmt die Aktivierungsenergie mit zunehmendem Abstand ab.

4 Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag wurde versucht, die komplexe Thematik der Modellierung von Kontext für adaptive Systemleistungen zu strukturieren und einen übergeordneten Rahmen zur Entwicklung konkreter Modellierungstechniken verfügbar zu machen. Zur Klärung des Kontextbegriffs ist zwischen einem Modell aller möglichen kontextrelevanten Konzepte und deren Struktur einerseits und dem aktuell aktiven Kontext andererseits zu unterscheiden. Zur Bestimmung des aktuellen Kontextes sind Mechanismen erforderlich, die Kontexte auf Basis von Verhaltensdaten oder spezifischen Sensoren erkennen. Die Frage der Kontexterkenkung wurde in diesem Beitrag bewusst ausgeklammert. Stattdessen wird ausgehend von einer Taxonomie von Kontextfaktoren ein allgemeiner Ansatz diskutiert, mit dem Informationen in flexibler Weise kontextualisiert werden können.

Wir sind der Auffassung, dass es einer umfassenden, systematischen Kontextmodellierung und deren Integration in den Entwicklungsprozess interaktiver Systeme bedarf, damit Systemadaptionen anhand von Kontextinformationen gewinnbringend eingesetzt werden können. Die Erstellung der Kontextmodelle ist aufgrund ihres Umfangs und der Vielzahl an Beziehungen im Regelfall sehr aufwändig. Gegenwärtig arbeiten wir deshalb an der Konzeption von Werkzeugen, die die Modellierung durch Visualisierungs- und Interaktionsmöglichkeiten unterstützen und eine Kombination manueller Modellierungsaktivitäten mit automatisierten Verfahren erlauben. Erste Ansätze für solche Werkzeuge stellen wir an anderer Stelle (Kaltz et al. 2005) vor. Darüber hinaus planen wir derzeit die empirische Überprüfung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Kategorisierung und Modellierungsverfahren.

Literaturverzeichnis

- Brézillon, P. (2003): Using context for supporting users efficiently. In Sprague, R.H. (Hrsg.): Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS'03, Track 5. Los Alamitos: IEEE.
- Collins, A.; Loftus, E. (1975): A spreading-activation theory of semantic processing. In: Psychological Review, 82(6), S. 407-428.
- Dey, A.K.; Abowd, G.D.; Salber, D. (2001): A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. In: Human Computer Interaction, 16, S. 97-166.

- Dey, A.K.; Hamid, R.; Beckmann, C.; Li, I.; Hsu, D. (2004): a CAPpella: programming by demonstration of context-aware applications. In: Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems, CHI'04. ACM Press. S. 33-40.
- Forman, G.H.; Zahorjan, J. (1994): The challenges of mobile computing. In: IEEE Computer, 27(4), S. 38-47.
- Gross, T.; Specht, M. (2002): Aspekte und Komponenten der Kontextmodellierung. In: i-com – Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien, 3, S. 12-16.
- Kaltz, J.W.; Ziegler, J.; Lohmann, S. (2005): Context-aware Web Engineering: Modeling and Applications. In: Revue d'Intelligence Artificielle, Special Issue on Applying Context Management, S. 439-458.
- McCarthy, J.L. (1993): Notes on formalizing context. In: Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI '93, S. 555-560.
- Mikalsen, M.; Kofod-Petersen, A. (2004): Representing and Reasoning about Context in a Mobile Environment. In: Proceedings Workshop on Modelling and Retrieval of Context, Vol. 114, S. 25-35.
- Monaco, F.J.; Gonzaga, A.; Guerreiro, L.B. (2001): Restraining content explosion vs. constraining content growth. In: Murugesan, S.; Deshpande, Y. (Hrsg.): Web Engineering, Software Engineering and Web Application Development, Heidelberg: Springer Verlag, S. 148-155.
- Oppermann, R. (2003): Ein nomadischer Museumsführer aus Sicht der Benutzer. In: Ziegler, J.; Swilius, G. (Hrsg.): Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung. Stuttgart: Teubner Verlag, S. 31-42.
- Schilit, B.; Adams, N.; Want, R. (1994): Context-aware computing applications. In: Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. Santa Cruz: IEEE. S. 85-90
- Schmidt, A.; Van Laerhoven, K.; Strohbach, M.; Friday, A.; Gellersen, H.W. (2002): Context Acquisition based on Load Sensing. In: Boriello, G.; Holmquist, L.E. (Hrsg.): Ubiquitous Computing. Proceedings of UbiComp 2002, LNCS 2498, Heidelberg: Springer Verlag, S. 333-351.
- Winograd, T. (2001): Architectures for Context. In: Human-Computer Interaction, 16(2), S. 401-419.

Kontaktinformation

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ziegler
Institut für Informatik und Interaktive Systeme
Universität Duisburg-Essen (Campus Duisburg)
47048 Duisburg
E-Mail: {ziegler, lohmann, kaltz}@interactivesystems.info