NRL/SCR-Spezifikation des Kontrollsystems

L. Baum, B. Dellen, E. Kamsties,
A. von Knethen, S. Vorwieger

Version	Datum	Autor	Bemerkungen
1	15.02.96	E. Kamsties	Erste Version, Fokus auf Erkennung einer Raumbelegung
1.1	19.02.96	L. Baum	Erweiterung um Bewertung der Problembeschreibung
1.1	01.03.96	L. Baum	Offengebliebene Fragen aus der Problembeschreibung beantwortet.
1.2	13.03.96	L. Baum	Temperatursteuerung verfeinert
1.3	19.03.96	S. Vorwieger	Controlpanel spezifiziert
1.4	27.03.96	L. Baum	Temperatursteuerung verfeinert
1.5	11.04.96	L. Baum	Lüftung spezifiziert
1.6	25.04.96	E. Kamsties	Licht spezifiziert
1.7	06.08.96	L. Baum	Abschnitte 3.2 - 3.4 und 3.6 von ereignisgesteuerten Zustandsautomaten auf Bedingungen umgestellt.
1.8	19.10.96	L. Baum	Umfangreich überarbeitete Fassung unter Berücksichtigung der Reviewergebnisse,

Inhalt

Liste der vorkommenden Tabellen

1 Einführung

Das vorliegende Dokument beschreibt Anforderungen an ein einfaches System zur Steuerung eines Raumes im Rahmen eines Gebäudeautomationssystems. Das Raumsteuerungssystem, im folgenden als *Kontrollsystem* bezeichnet, dient der Überwachung und Steuerung von *Beleuchtung*, *Raumtemperatur*, *Belüftung* und *Sicherheitsfunktionen* eines mit Sensoren und Aktuatoren instrumentierten Versuchsraumes.

Das Dokument erweitert die vom Kunden erstellte Problembeschreibung [5] zu einer Anforderungsspezifikation mit dem Ziel, funktionale wie nichtfunktionale Anforderungen an das Kontrollsystem so präzise wie möglich zu beschreiben, ohne Vorentscheidungen über die Art der Realisierung zu treffen. Zur Beschreibung der Anforderungen wird die NRL/SCR-Anforderungsbeschreibungstechnik (bsp. [4]) verwendet.

In Abschnitt 1.1 wird zunächst die zugrundeliegende Problembeschreibung ausgewertet, indem aufgetretene Fragen beantwortet und umgangssprachliche Neuformulierungen von Teilen der Problembeschreibung gegeben werden. Abschnitt 1.2 gibt eine kurze Einführung in die verwendete Spezifikationstechnik NRL/SCR.

1.1 Auswertung der Problembeschreibung

Da die Problembeschreibung [5] naturgemäß in einigen Punkten unklar bzw. sogar widersprüchlich bleibt, werden in Abschnitt 1.1.1 die offen gebliebenen bzw. bei der Umsetzung der Problembeschreibung aufgetretene Fragen aufgeführt. Ferner werden zu den Fragen mit dem Kunden abgesprochene bzw. nach eigener Interpretation der Problembeschreibung gewählte Antworten gegeben.

Abschnitt 1.1.2 gibt nachfolgend die für dieses Spezifikationsdokument zugrundegelegte Interpretation der Problembeschreibung in Bezug auf vorgegebene Zeitintervalle und darin einzuhaltende Temperaturwerte wieder.

1.1.1 Fragen zur Problembeschreibung

Bei der Umsetzung der Problembeschreibung aufgetretene Fragen und entsprechende Antworten werden im folgenden als Tupel der Form (F, E, A) aufgelistet, wobei F für die zu klärende *Frage* steht, E für eine *Erläuterung* der Frage und A für die *Antwort*. Zusätzlich wird zu den meisten Fragen direkt die Problembeschreibung referenziert (G_i für *group member need* Nr. i, C_i für *custodian needs*, O_i für *owner needs*, F_i für *proposed system functionality*). Nachfolgend gemachte Seiten-, Absatz- und Zeilenangaben beziehen sich, sofern nicht ausdrücklich anders erwähnt, auf die Problembeschreibung [5].

1. **F**: Was ist die Bedeutung des Begriffs *comfort time*?

   E: In Absatz 1 ist der Begriff der *comfort time* als *room occupied* definiert. Dies widerspricht der Angabe G1, wo von *preset* comfort times die Rede ist, also von Zeiten, die vorgegeben sind und in welchen die Komforttemperatur offenbar unabhängig von einer Personenanwesenheit einzuhalten ist.

   A: Nach unserer Auffassung entspricht der Begriff *comfort time* vorgegebenen Zeitintervallen (“Komfortvorgabe”), in welchen unabhängig von einer Raumbelegung die vorgegebene Komforttemperatur einzuhalten ist. Die Anwesenheit einer Person bedingt (nach einer gewissen Zeit T1) zwar auch das Aufheizen auf Komforttemperatur, wird aber nicht als separat benanntes Zeitintervall gekennzeichnet. Eine ausführlichere Interpretation der Problembeschreibung findet sich im Abschnitt 1.1.2.

2. **F**: Durch welche Besonderheiten ist die *heating period* gekennzeichnet und welche Einschränkungen gelten während dieser Zeit für das zu entwerfende Kontrollsystem? (siehe G1)

   E: Interessant ist insbesondere, ob auch außerhalb der heating period ein Heizversuch zulässig ist (z.B. Drehen an den Ventilen). Wäre dies der Fall, so wäre der Begriff der heating period für das Kontrollsystem irrelevant, da es ohnehin über das ganze Jahr hinweg mit minimalem Energieaufwand versuchen soll, die gewünschten Temperaturen einzuhalten (vgl. auch F1).

   A: Dem System wird über ein extern getriggertes Flag (aus Sicht des Kontrollsystems ein Sensor) mitgeteilt, ob man sich in der Heizperiode befindet. Außerhalb der Heizperiode sollen keine Heizversuche (Drehen an den Ventile) unternommen werden.

3. **F**: Muß die Komforttemperatur bereits zu Beginn der Komfortvorgabezeit erreicht sein? (vgl. F3)

   E: In F3 heißt es dazu: "...comfort temperatur is reached at begin of comfort times in a moderate time interval...". Muß sie nun zu Beginn erreicht sein, oder erst in einer "moderaten" Zeitspanne später? Und was heißt dann "moderat"? Würde diese Zeitspanne dann durch den Benutzer vorgegeben?

   A: Die gewünschte Raumtemperatur muß zu Beginn der Komfortvorgabezeit erreicht sein. Alle Zieltemperaturwerte dürfen jedoch im Rahmen eines erlaubten Schwankungsintervalls vom jeweiligen Sollwert abweichen. Genauer gesagt ist also zu fordern, daß die Raumtemperatur zu Beginn der Komfortvorgabezeit innerhalb des um die Komforttemperatur gesteckten Schwankungsintervalls liegen muß.

4. **F**: Welche Vorgaben macht die DIN 1946 T.2 betreffend der Ventilation von Räumen? Wo ist die Norm einzusehen? (vgl. G2, O2, F8)

   E: Insbesondere in O2 und F8 ist von "ausreichender Ventilation" die Rede. Wie ist "ausreichend" zu definieren und wie ist ausreichende Ventilation durch das Kontrollsystem sicherzustellen? Man beachte, daß das Kontrollsystem weder die die Luftgüte (z.B. Sauerstoffgehalt, vgl. G2, F8) noch die Anzahl der im Raum befindlichen Personen feststellen kann (vgl. F8)!

   A: Das System kann einzig und allein die Luftfeuchtigkeit messen und bei unerwünschten Werten ggf. mit größerem Luftaustausch mit der Außenluft reagieren (Vergleich mit der Außenluftfeuchtigkeit). Der Bereich "erwünschter" Werte kann vom Benutzer vorgegeben werden. Neue Sensoren werden nicht eingeführt.

   Weiteren Luftgütekriterien ist durch "vernünftiges" Lüften nach bestimmten Heuristiken zu begegnen, z.B. in dem der Benutzer eine bestimmte Lüftungszeitdauer vorgeben kann. Das System wird dann für die vorgegebene Zeit den Raum lüften (soweit möglich außerhalb der Belegungszeiten des Raums).

5. **F**: Wie ist die Priorisierung zwischen den konkurrierenden Anforderungen "Heizen", "Lüften" und "Sicherheitsverschluß"?

E: Wie ist z.B. in dem Konfliktfall zu verfahren, in dem sowohl gelüftet (schlechte Luftgüte) als auch geheizt werden soll (Raumtemperatur zu niedrig)? Entsprechende Fragen ergeben sich für weitere Konfliktfälle (z.B. Verschluß der Fenster aus Sicherheitsgründen bei Sturm).

A: Temporäre manuelle Veränderungen durch den Benutzer genießen höchste Priorität. Nachfolgend kommen Sicherheitsmaßnahmen des Systems, sowie Heizvorgänge und Lüftungsvorgänge. Die Priorisierung wird somit wie folgt festgelegt: manuelle_Vorgabe > Sicherheit > Heizung > Lüftung.

Mit manuellen Veränderungen ist es dem Benutzer *jederzeit* möglich, *alle* von dem Kontrollsystem durchgeführten Maßnahmen (z.B. Öffnen oder Schließen der Fenster, Aufdrehen der Heizung etc.) für die Dauer einer Raumbelegung oder bis zu expliziter Rückschaltung auf Automatik zu "überschreiben". Beispiel: obwohl das System der Ansicht ist, lüften zu müssen, und daher das Fenster geöffnet hat, kann der Benutzer das Fenster schließen, und das System wird z.B. für die Dauer einer Personenanwesenheit nicht mehr versuchen, das Fenster erneut zu öffnen. Nach einer Raumbelegung bzw. bei Rückschalten auf Automatik übernimmt dann das System wieder die (volle) Kontrolle (z.B. öffnet das Fenster, um zu lüften). Eine Ausnahme bildet die (manuelle) Veränderung der Komforttemperatur, die nicht mit Ende einer Raumbelegung rückgängig gemacht wird, sondern immer bis zur nächsten expliziten Temperaturänderung bestehen bleibt.

6. **F**: Wie ist die Priorisierung zwischen den konkurrierenden Anforderungen “Heizen” und “Energiesparen”?

E: Wie ist z.B. in dem Fall zu verfahren, in dem bei zu erwartenden hohen Tagesaußentemperaturen zu früher Morgenstunde die Raumtemperatur unter den Wunschwerten liegt? Soll dann geheizt werden, obwohl in wenigen Stunden hohe Außen- und damit auch Raumtemperaturen zu erwarten sind? Oder wird diese Situation durch die geeignete Vorgabe der *heating period* und damit der Heiz*möglichkeit* vermieden?

A: Heizen ist im Zweifelsfall höher priorisiert als Energiesparen, d.h. die vorgegebenen Temperaturen sind mit Ausnahme des Sicherheitsfalles in jedem Fall einzuhalten. Unsinnige Heizvorgänge (wie oben beschrieben: Heizen an einem Sommermorgen) werden über die Vorgabe der heating period vermieden (bei zu erwartenden hohen Tagestemperaturen wird die heating period "ausgeschaltet" und somit Heizen verboten bzw. unmöglich gemacht).

7. **F**: Welche angenäherten Formeln sind für den Energieverbrauch beim Heizen anzusetzen?

E: Interessant ist die Antwort zu obiger Frage insbesondere bei der Entscheidung, wie hoch die Standby-Temperatur vom Kontrollsystem zu wählen ist. Ist beispielsweise ein längeres Halten einer mittleren Standby-Temperatur mit anschließendem kurzen Aufheizen günstiger als eine tiefe Standby-Temperatur und anschließendes langes, teures Aufheizen?

A: Es ist davon auszugehen, daß geeignete Formeln für den Energieverbrauch während des Heizvorgangs und für den Energieverlust des Raumes existieren; diese Formeln müssen zunächst nicht näher angegeben werden. Angenäherte Formeln finden sich jedoch beispielsweise im Referenzmodell vom 1.12.95, Seiten 9/10 und 20, sowie im Constraint-Modell vom 8.1.96, Seiten 4 und 5.

8. **F**: Womit korrelieren die Ersetzungskosten bei Lampen? (vgl. O3, F12)

   E: Ist beispielsweise längeres Leuchten schlechter oder besser als häufiges Ein- und Ausschalten? Vermutlich hängt die Antwort auch vom verwendeten Lampentyp ab (Leuchtstoffröhre / Glühbirne / Halogen etc.) ab. Werden verschiedene Lampentypen verwendet und sind diese dem Kontrollsystem als unterschiedlich bekannt?

   A: Verschiedene Lampentypen werden nicht unterschieden. Generell wird davon ausgegangen, daß sehr häufiges Ein- und Ausschalten eine übermäßige Beanspruchung der Lampen bedeutet und zu vermeiden ist. Genauere Angaben werden nicht gemacht.

   Als Schlußfolgerung wird ein vom Kontrollsystem initiiertes Ausschalten der Lampen eine gewisse Zeit verzögert; diese Verzögerung wird im Augenblick als von der Lampe selbst realisiert angenommen. Sollte innerhalb dieser Zeit ein Einschalten wieder erforderlich werden, so wird durch dieses Vorgehen das Aus- und Wiedereinschalten vermieden. In diesem Fall ist die Verlängerung der Lampenlebensdauer höher priorisiert, als die Energiesparvorgabe. Die Verzögerungszeitspanne kann z.B. sinnvoll mit T3 (aus der Problembeschreibung, Seite 3) gleichgesetzt werden. Ein manuelles Ausschalten der Lampen durch den Benutzer sollte sinnvollerweise nicht verzögert werden (Benutzereingriffe sind am höchsten priorisiert, vgl. auch Antwort zu Frage 5).

9. **F**: Sollten bei Frage 8 Konfliktmöglichkeiten auftreten, wie sind dann Konflikte aufzulösen?

   E: Sollte sich z.B. herausstellen, daß längeres Leuchten die Lebensdauer der Lampen erhöht, wie ist dann die Priorisierung im Vergleich zur Energiesparvorgabe? Wenn die Vorgabe von F12 gilt (Kostenaspekt), wie hoch sind dann Ersetzungskosten für Lampen (ggf. verschiedene Typen!) und wie hoch sind die Energiekosten (konstant? Tageszeitabhängig? Lampentypabhängig...)

   A: Zur Priorisierung zw. Lampenlebensdauer und Energiesparen: siehe Antwort zu Frage 8. Der Kostenaspekt (Ersetzungskosten, Stromkosten etc.) bleibt unbetrachtet.

10. **F**: Soll das Kontrollsystem Gewohnheiten von Personen selbst erlernen?

    E: In F4 wird vorgeschlagen, Arbeitsgewohnheiten von Personen bei der Berechnung von Zeitspannen zu berücksichtigen. Sollen diese vom System erlernt werden oder werden diese explizit durch den Benutzer vorgegeben?

    A: Arbeitsgewohnheiten etc. sind explizit anzugeben.

11. **F**: Wie soll das Kontrollsystem erkennen, ob direktes Sonnenlicht auf Arbeitsplätze fällt? (vgl. G3)

    E: Es existiert nur ein Lichtsensor an der Decke, und der genaue Ort von Arbeitsplätzen innerhalb des Raumes ist dem Kontrollsystem unbekannt. Es besteht derzeit keine Möglichkeit, die Anforderung “no direct sunlight should reach a workspot” garantiert zu erfüllen!

    A: Da dieser Teil der Anforderung G3 gegenwärtig unerfüllbar ist, wird er vernachlässigt. Zusätzliche Sensoren oder anderweitige Informationsquellen für das Kontrollsystem werden nicht eingeführt.

12. **F**: Wie kann bei heruntergelassener Jalousie die Sonneneinstrahlung bestimmt werden ?

    E: Da nur ein Sonsor für die Raumhelligkeit vorhanden ist, kann die Sonneneinstrahlung bei heruntergelassener Jalousie nicht bestimmt werden.

    A: Es wird ein Außensensor zur Messung der Sonneneinstrahlung eingerichtet (gemäß Treffen am 21.2.96, in Erweiterung der Liste von Sensoren in der Problembeschreibung vom 18.1.96). Hiermit ist die Stärke der Sonneneinstrahlung zu messen; ab einem bestimmten Schwellwert werden die Jalousinen geschlossen werden.

13. **F**: Wie sind "hazardous conditions" definiert? (vgl. G5)

    E: Bei welchen Windgeschwindigkeiten und bei welcher Regenmenge sind die Fenster aus Sicherheitsgründen zu schließen? (vlg. G5). In welchen Situationen ist wie mit den Jalousien zu verfahren? (vgl. O5)

    A: Die genauen Maximalwerte sind als konstant anzusehen und werden in der Initialisierungsphase des Systems vorgegeben. Jalousien sind ausschließlich bei zu starkem Wind einzufahren.

14. **F**: Ist ein explizites Kühlen von Räumen vorgesehen? (vgl. Problembeschreibung 2.2, Absatz 18)

    E: Nach den in der Problembeschreibung explizit erwähnten Anforderungen kann ein Kühlen des Raumes *ausschließlich* bei Überschreiten der Komforttemperatur vorgesehen sein (vgl. F7): die Komforttemperatur ist die *einzige* Temperaturvorgabe, die (zu bestimmten Zeiten und mit erlaubten Schwankungen) *eingehalten* werden *muß* - alle anderen ausgezeichneten Temperaturwerte stellen lediglich Mindestwerte dar. Nach Abschnitt 2.2 / Absatz 18 steht aber zu vermuten, daß während der Sommerzeit ein weiteres Kühlen von Räumen während der Nacht erwünscht wird. Ist dies tatsächlich der Fall?

    A: Gekühlt wird ausschließlich beim Überschreiten der Komforttemperatur. Ein weiteres Abkühlen auf Standby-Temperatur außerhalb von Komfortvorgabezeiten erscheint nicht sinnvoll (bei tiefen Außentemperaturen während der heating period würde ein Kühlen wegen der nachfolgend verlängerten Aufheizphase mit Energiesparvorgaben kollidieren; bei höheren Außentemperaturen außerhalb der heating period ist Heizen ausgeschlossen und das Erreichen der Komforttemperatur kann nicht mehr garantiert werden).

15. **F**: Was ist eine sinnvolle obere Grenze für die zulässige Lichtmenge im Raum? (vgl. Problembeschreibung G5 und 2.2, Absatz 19)

    E: Laut G5 soll Schaden, verursacht durch übermäßige Sonneneinstrahlung, vermieden werden. Man beachte, daß die Sonneneinstrahlung allenfalls über den einen Lichtsensor an der Decke bestimmt werden kann! Es steht zu erwarten, daß diese Meßmethode sehr ungenau ist. Ab welcher Lichtmenge soll von "übermäßiger Einstrahlung" ausgegangen werden? Absatz 19 (2.2) läßt vermuten, daß während der Sommerzeit der Raum bei Abwesenheit von Personen abgedunkelt werden soll. Ist dies tatsächlich der Fall?

    A: Zur Feststellung übermäßiger Sonneneinstrahlung wird der Strahlungssensor an der Außenwand (vgl. Frage 22) verwendet. Bei übermäßiger Strahlung sind die Jalousien herunterzulassen ("übermäßig" wird durch einen vom Benutzer vorgegebenen Wert definiert). Die Jalousien werden sowohl während der Anwesenheit von Personen als auch außerhalb der Belegungszeiten dazu verwendet, die Aufheizung des Raumes durch Sonneneinstrahlung zu verringern.

16. **F**: Ist es generell richtig, daß die Funktionsvorgaben F1 - F26 *Vorschläge* (“proposed system functionality”) und *keine Anforderungen* sind?

    E: ... sprich also nicht unbedingt erfüllt werden müssen?

    A: korrekt: Die Vorschläge F1-F26 sind bei der Spezifikation *nicht* notwendigerweise zu beachten.

17. **F**: Wie erfolgt die Ansteuerung der Heizkörper?

    E: Existiert ein eigenes Teilkontrollsystem für die Steuerung der Heizkörperventile, dem eine Zieltemperatur vorgegeben werden kann?

    A: Genau genommen gehört die Spezifikation der Heizungsansteuerung ebenfalls in das Spezifikationsdokument des (Raum-)Kontrollsystems. Ein entsprechendes Ansteuerungsmodul, dem direkt eine Zieltemperatur vorgegeben werden kann, wird jedoch parallel entwickelt und kann vorerst als gegeben angesehen werden. Für den Augenblick ist die Heizungsansteuerung also *nicht* mitzuspezifizieren.

18. **F**: Wird ein weiterer Sensor eingeführt, um die Helligkeit am Boden zu bestimmen?

    E: Anforderung G3 verlangt ein Minimum von 50 LUX am Boden, die Helligkeit wird aber an der Decke gemessen (und soll als Durchschnittshelligkeit des Raumes angesehen werden (Problembeschreibung, Seite 11)).

    A: Nein. G3 wird als 50 LUX Durchschnittshelligkeit interpretiert, die an der Decke gemessen wird.

19. **F**: Welche Beleuchtungsstärke soll gewählt werden, wenn das Minimum von 50 LUX unterschritten wird ? Welche, wenn der Raum leer ist ?

    A: Ein vom Bewohner wählbarer Wert bei Unterschreitung von 50LUX; Wird der Raum verlassen, soll das Licht abgeschaltet werden (Energiesparen).

20. **F**: Wie erfolgen manuelle Eingriffe des Bewohners auf den Beleuchtungskörper ?

    E: Die Anforderung G6 erwähnt nur einen Lichtschalter. Kann der Bewohner auch die Helligkeit regulieren ?

    A: Die Helligkeit ist nicht regulierbar und wird nur von Kontrollsystem gesteuert. Über ein Panel hat der Bewohner die Möglichkeit, das Licht ein- bzw. auszuschalten.

21. **F**: Wann endet die manuelle Kontrolle über das Licht?

    E: In welcher Situation oder nach welchem Ereignis kann das System nach einem manuellen Eingriff wieder die Steuerung des Lichts übernehmen ?

    A: Die manuelle Kontrolle endet entweder nach explizitem Umschalten auf Automatik noch nach Verlassen des Raumes.

22. **F**: Wie wird "Solar Radiation" in G5 gemessen?(vgl. G5)

    A: Es wird ein Außensensor zur Messung wird bereitgestellt.

23. **F**: Was für Schutzmaßnahmen sollen ergriffen werden, um eine Beschädigung durch zu hohe Sonneneinstrahlung zu verhindern? (vgl. G5)

    A: Die Jalousien werden ganz heruntergelassen und die Lamellen zugedreht.

24. **F**: Welche Wetterbedingungen können Fenster und Jalousie beschädigen und welche Schutzmaßnahmen sind zu ergreifen? (vgl. O5)

    A: Beschädigungen können durch starken Wind auftreten. In einem solchen Fall sind die Fenster zu schließen und die Jalousien vollständing einzuziehen.

25. **F**: Wie sollen Benutzer gewarnt werden, wenn Schaden durch nicht geschlossene untere Fenster droht? (G5, O5 --> F 14)

    A: Die Warnung wird auf dem Display des Panels ausgegeben, ggf. mit einem Warnton.

1.1.2 Interpretation der Problembeschreibung

Dieser Abschnitt gibt die für dieses Spezifikationsdokument verwendete Interpretation der Problembeschreibung in Bezug auf vorgegebene Zeitintervalle und einzuhaltende Temperaturwerte wieder.

Temperaturwerte

Die Raumtemperatur betreffend gibt es *einen* ausgezeichneten Temperaturwert, der dem System vom Benutzer vorgegeben wird und zu bestimmten Zeiten einzuhalten ist: die **Komforttemperatur** ("comfort temperature", G1). Sie ist

- einerseits während vorgegebener Zeitintervalle unabhängig von einer Raumbelegung einzuhalten (G1: "...maintained during *preset* comfort times...", F1: "...maintained within given deviations *during comfort time*...").
- Andererseits ist die Komforttemperatur einzuregeln, sobald sich eine Person eine bestimmte Zeit lang im Raum aufhält (G1:"...comfort temperature shall be ... reached ... when the room is occupied for a longer time period"). Nach welcher Aufenthaltszeit die Komforttemperatur einzustellen ist und die Raumbelegung somit *signifikant* ist, ist im Zustandsdiagramm auf Seite 3 der Problembeschreibung erklärt (nach T1).

Eine weitere ausgezeichnete Temperatur, die jedoch *nicht* direkt vom Benutzer vorgegeben wird, ist die **Standby-Temperatur** (Absatz 8: "... state 'empty', *stand-by* or off-time *temperature*, depending on the time period..."). Sie ist während bestimmter vom Benutzer bestimmter Zeitintervalle einzuhalten, um während dieser Zeiten eine genügend schnelle Aufheizung auf die Komforttemperatur zu gewährleisten. Was "genügend schnell" heißt, wird in F2 etwas konkretisiert ("... such that a user required heat-up can be guaranteed ..." - nach der Team1-Vereinbarung vom 17.1.96 existiert also eine Zeitvorgabe durch den Benutzer). Das Kontrollsystem soll die benötigte Standby-Temperatur aus diesen Rahmenbedingungen ermitteln.

In Zeiten, in denen weder die Komforttemperatur noch die Standby-Temperatur eingehalten werden müssen, darf die Raumtemperatur bis auf einen Minimalwert, die sogen. **offtime-Temperatur** (zur Vermeidung von Frostschäden >= 4°C, siehe C10), absinken.

An die Temperaturwerte werden laut Problembeschreibung folgende Anforderungen gestellt:

- standby-Temperatur ≥ 0°C (Proposed System Functionality F2)
- offtime-Temperatur ≥ 4°C (custodian needs C10, zuzügl. der Vereinbarung vom 17.1.96, daß zum Einhalten dieser Vorgaben eine Mindesttemperatur von 4°C erforderlich sei).

Indirekt lassen sich hieraus und aus den restlichen Anforderungen (insbesondere den Energiesparvorgaben) folgende Plausibilitätsrelationen folgern:

4°C ≤ offtime-Temp. ≤ standby-Temp ≤ Komforttemp. ≤ 21,5°C

Die obere Schranke von 21,5°C ergibt sich aus der maximal mit den Heizkörpern erreichbaren Raumtemperatur (vgl. ConstraintModel-Dokument vom 8.1.96).

Name	**Bedingungen**	**Beschreibung**
Komforttemperatur tmp_{cf}	≤ 21,5°C	Vom Benutzer bei (längerer, d.h. signifikanter) Anwesenheit gewünschte Raumtemperatur.
Standby-Temperatur tmp_{sb}	≤ tmp_{cf} und ≥ tmp_{off}	Vom System gewählte “Zwischen”-Temperatur, um bei erwarteter Raumbelegung schnell genug auf Komforttemp. aufheizen zu können.
offtime-Temperatur tmp_{off}	≥ 4°C	Minimaltemperatur im Falle keiner sonstiger Temperaturvorgaben.

Tabelle 1: Ausgezeichnete Temperaturwerte

Zeitspannen, -intervalle und -vorgaben

Das Kontrollsystem hat zu bestimmten Zeiten bestimmte Temperaturen einzuhalten. Hierfür werden Zeitintervalle für bestimmte Systemzustände vorgegeben. Es existieren *zwei* derartige Vorgaben:

- Während der **Komfortvorgabezeit** (“preset comfort time”, G1) hat der Raum auf Komforttemperatur zu sein (d.h., daß u.U. schon *vor* Beginn der Komfortvorgabezeit mit dem Heizen begonnen werden muß, siehe F3). Während dieser Komfortvorgabezeit ist es irrelevant, ob der Raum belegt ist oder nicht (“oder”-Verknüpfung der Bedingungen für die comfort temperature in G1).
- Während der **Belegungsvorgabezeit** (“stand-by time”, Absatz 1 der Problembeschreibung, oder auch F2) erwartet das System die baldige Belegung des Raumes und ist bereit, bei tatsächlicher Personenanwesenheit die Komforttemperatur innerhalb einer bestimmten Zeitspanne zu erreichen. Die Belegungsvorgabezeit wird aus den Benutzerangaben zu
  - Ferienzeiten (“vacation”),
  - Feiertagen (“holidays”),
  - Arbeits- bzw. Anwesenheitsgewohnheiten (“working habits”) und
  - Abwesenheitsgewohnheiten (“off-site-times”)

  bestimmt (siehe F4). Diese Bestimmung kann vom Benutzer (d.h. durch explizite Zeitvorgaben) oder vom System durchgeführt werden.

Überlappungen der beiden Vorgabezeiten erscheinen nicht sinnvoll (im Zweifelsfall hat die Komfortvorgabe Priorität über die Belegungsvorgabe). Zeiten, die weder unter die Komfortvorgabe noch unter die Belegungsvorgabe fallen, werden als **off-times** bezeichnet. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt gilt somit entweder die off-time, die Belegungsvorgabe oder die Komfortvorgabe.

Name	Beschreibung
Komfortvorgabezeit $[t]_{cv}$	Komforttemperatur ist ohne Rücksicht auf Raumbelegung einzuhalten.
Belegungsvorgabezeit $[t]_{bv}$	Raumbelegung wird erwartet. Temperatur ist so zu wählen, daß bei tatsächlicher Raumbelegung schnell genug auf Komforttemperatur aufgeheizt werden kann (Standby-Temperatur).
off-time NOT($[t]_{cv}$ OR $[t]_{bv}$)	Rest der Zeit, in dem keine besonderen Vorgaben gelten. Die Raumtemperatur kann bis auf eine Minimaltemperatur von 4°C absinken.

Tabelle 2: Vorgegebene Zeitintervalle

Wird während der Belegungsvorgabezeit eine signifikante Raumbelegung festgestellt (Personenanwesenheit für länger als T1 Zeiteinheiten, vgl. Problembeschreibung), so muß das System innerhalb einer vom Benutzer gewählten Zeitspanne den Raum auf Komforttemperatur heizen (F2, “user required heat-up”):

Name	Beschreibung
Belegungsbedingte Aufheizzeit t_{urh}	Maximale Zeit, die nach Erkennen einer signifikanten Raumbelegung zum Aufheizen auf Komforttemp. vergehen darf, sofern das System eine Belegung erwartete (Belegungsvorgabezeit).

Tabelle 3: Vorgegebene Zeitspannen

Wird eine signifikante Raumbelegung während der off-time festgestellt (also unerwartet), so ist die Komforttemperatur “so schnell wie möglich” (G1) zu erreichen. Es macht aber wohl wenig Sinn, dies schneller als in der ebend erwähnten ‘belegungsbedingten Aufheizzeit’ t_{urh} zu versuchen.

Die Temperatur betreffende Systemanforderungen

Während der verschiedenen Zeitintervalle ist folgendes Systemverhalten erwünscht:

Zeitintervall	geforderte Funktionalität
NOT ($[t]_{cv}$ OR $[t]_{bv}$)	Die Raumtemperatur darf die offtime-Temperatur von 4°C nicht unterschreiten (C10). Stehen Komfortvorgabe- oder Belegungsvorgabezeiten bevor, so ist ggf. mit dem Heizen zu beginnen, damit zu Beginn dieser Zeiten die geforderte Temperatur erreicht ist (F3). Wird eine signifikante Raumbelegung festgestellt, so ist so schnell wie möglich, schnellstens jedoch in t_{urh} die Komforttemperatur zu erreichen und diese für die Dauer der Raumbelegung zu halten (G1). Ansonsten bestimmt die Forderung nach minimalem Energieverbrauch die Raumtemperatur (man beachte dabei aber auch die ggf. in die off-time fallenden Aufheizarbeiten!)

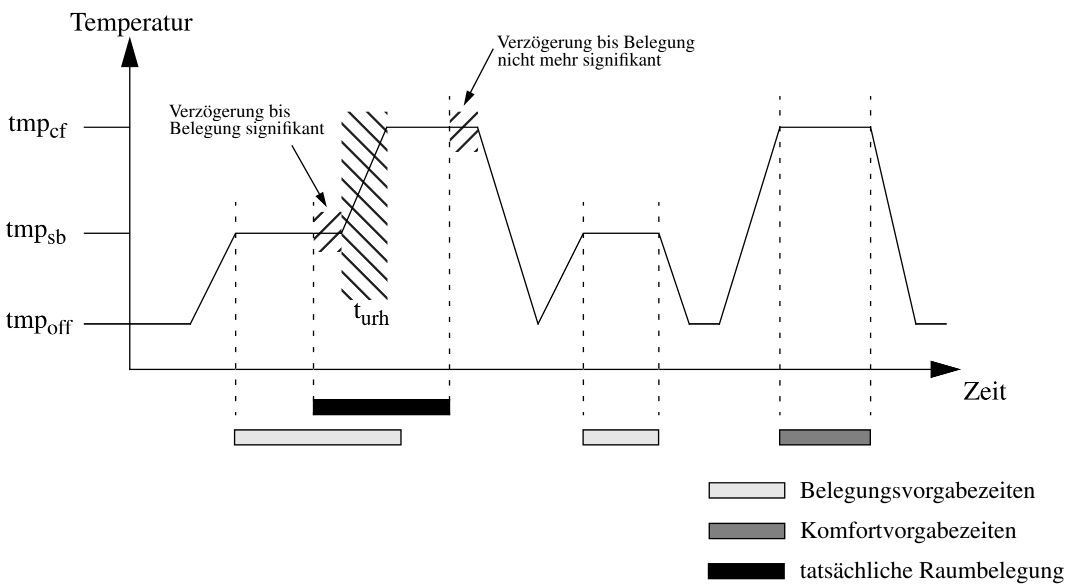
Tabelle 4: Geforderte Systemfunktionalität

Zeitintervall	geforderte Funktionalität
$[t]_{bv}$	Der Raum ist auf Standby-Temperatur zu halten. Die Standby-Temperatur ist so zu bemessen, daß bei signifikanter Raumbelegung die Komforttemperatur nach einer vorgegebenen Zeitspanne t_{urh} erreicht wird (F2). Bei Erkennung einer signifikanten Raumbelegung ist auf Komforttemperatur zu heizen und diese für die Dauer der Raumbelegung zu halten (G1). Steht eine Komfortvorgabezeit and, so ist rechtzeitig mit dem Aufheizen auf Komforttemperatur zu beginnen (F3).
$[t]_{cv}$	Die Komforttemperatur ist zu halten.

Tabelle 4: Geforderte Systemfunktionalität

Beispiel

Die folgende Graphik zeigt einen Beispielablauf mit Vorgabezeiten, einer Raumbelegung und den geforderten Temperaturen.



1.1.3 Ergänzungen zur Panelbeschreibung

Die Schnittstelle des Kontrollsystems zum Benutzer, im folgenden als *Panel* bezeichnet, wird in der Problembeschreibung als aus einem Licht- und einem Jalousiedruckschalter, einer Tastatur und einer einzeiligen Anzeige bestehend beschrieben (3.2.2 der Problembeschreibung, Absatz 34). Im folgenden werden einige konkretisierende Annahmen über Gestalt und Bedienung des Panels gemacht:

1. Zur Eingabe von Benutzerwünschen steht eine amerikanische Standard-Tastatur mit 101 bzw. 102 Tasten zur Verfügung.
2. Die Anzeige ist alphanumerisch (z.B. ASCII Zeichensatz).
3. Das Scrollen der letzten fünf Zeilen (vgl. 3.2.2 der Problembeschreibung, Absatz 34) wird über die Cursor-Tasten der Tastatur geregelt. Bei der Ausgaben einer neuen Zeile wird immer auf die aktuelle (d.h. letzte) Zeile gesprungen.
4. Die Anzeige eines Steuerungswertes bleibt für eine festgelegte Zeitspanne auf dem Display sichtbar wenn sie nicht schon vorher durch ein "return" abgeschlossen wird. Danach werden wieder Status-Meldungen angezeigt.
5. Die Funktionen zur Steuerung des Fensters werden über einen zusätzlichen Umschalter (dreistufig: Schließen, aus (Mittelstellung), Öffnen) gesteuert.
6. Die Abfrage der Öffnung des Fensters geschieht über die Tastatur (s.u.).
7. In der nachfolgenden Tabelle sind die Parameter aufgeführt, die über die Tastatur angezeigt ('V' für *view*) bzw. verändert ('E' für *edit*) werden können. Die Tabelle sollte wie folgt interpretiert werden (Beispiel für Zeile 1):

Die Funktionen zur Steuerung und Anzeige des Heizungsventile werden über die Tastatur eingegeben: Bei Eingabe eines "t" bzw. "T" wird die aktuelle eingestellte Temperatur angezeigt. Diese kann durch Eingabe eines Wertes überschrieben werden. Die Eingabe/Anzeige wird mit einem "return" abgeschlossen.

Für die Änderungen von $[t]_{\text{working habit}}$, $[t]_{\text{vacation}}$ und $[t]_{\text{holidays}}$ (letzten drei Zeilen) müssen zwei Eingaben gemacht werden (Intervall)!

Die grau unterlegten Variablen werden in Kapitel 2 definiert.

Auslöser	Variable	View/ Edit	Beschreibung
t,T	tmp_{water}	VE	Wassertemperatur des Heizkörpers
f,F	sc	VE	Öffnung des Lüftungskippfensters (0 = geschlossen)
1	t_1	VE	Zeit T1 aus Problembeschreibung, Absatz 8
2	t_2	VE	Zeit T2 aus Problembeschreibung, Absatz 8
3	t_3	VE	Zeit T3 aus Problembeschreibung, Absatz 8
u,U	t_{urh}	VE	Belegungsbedingte Aufheizzeit. t_{urh}
c,C	tmp_{cf}	VE	gewünschte Komforttemperatur

Tabelle 5: Eingaben über die Tastatur der Kontrollbedieneinheit

Aus-löser	Variable	View/ Edit	Beschreibung
s,S	tmp_{sb}	V	Standby-Temperatur, berechnet aus der Komforttemp. und der maximal erlaubten Aufheizzeit.
o,O	tmp_{off}	VE	Minimale Raumtemperatur zu "offtime"-Zeiten
k,K	$[t]_{cv}$	VE	Komfortvorgabezeiten des Bewohners
w,W	$[t]_{working\ habits}$	VE	Arbeitszeiten des Bewohners
v,V	$[t]_{vacations}$	VE	Urlaubszeiten des Bewohners
h,H	$[t]_{holidays}$	VE	Feiertage

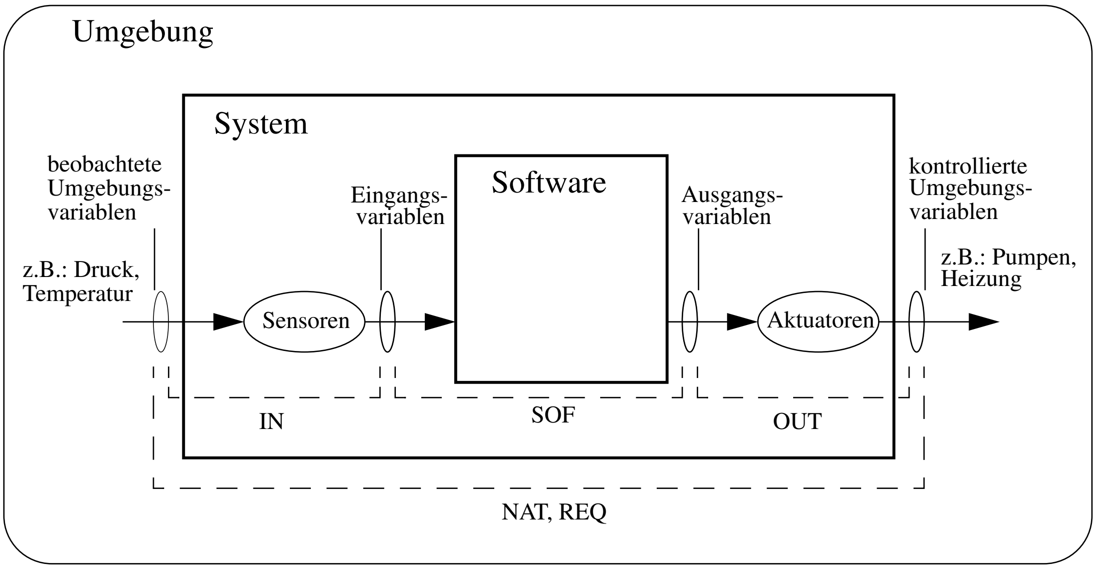
Tabelle 5: Eingaben über die Tastatur der Kontrollbedieneinheit

1.2 Die Spezifikation nach Parnas

SCR (Software Cost Reduction) wurde von D. Parnas et. al. am Naval Research Institute (NRL) entwickelt. SCR ist eine Technik mit der Möglichkeit zur formalen Beschreibung von System- und Softwareanforderungen, sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Anforderungen wie Zeit und Genauigkeit betreffend. Die beiden wesentlichen Bestandteile der Technik sind das *4-Variablen-Modell* [2], ein allgemeines Modell zur Beschreibung eines eingebetteten Systems (*embedded system*), und die *A7-Notation* auf Basis von Tabellen [2] mit einer formal definierten Semantik (siehe z.B. [4]).

1.2.1 Das 4-Variablenmodell

Im 4-Variablenmodell (siehe Abbildung) wird ein eingebettetes System in seiner Umgebung betrachtet. Die Anforderungen an das Verhalten des Systems werden als



eine Menge von Funktionen (bzw. Relationen) auf den Größen der Umgebung repräsentiert. Hierbei wird zwischen vier wesentlichen Typen unterschieden. *Umgebungsvariablen* repräsentieren (noch auf abstrakter Ebene) Eigenschaften oder Werte der Umgebung des Kontrollsystems. Eine als für das System relevant angesehene Auswahl dieser Umgebungsvariablen wird durch das Kontrollsystem mittels Sensoren beobachtet (daher: *beobachtete* Umgebungsvariablen) - ihre Werte bestimmen somit das Verhalten des Systems. Sensoren wandeln die Umgebungsgrößen in konkrete Zahlen und liefern somit aufbereitete Meßdaten in einer konkreten Kodierung (Byte-Repräsentation, Portadresse etc.), die als *Eingangsvariablen* für den Steuerungsteil[1] des Systems dienen. Diese Eingangsvariablen werden durch die zu spezifizierenden Funktionen auf *Ausgangsvariablen* abgebildet, die über Aktuatoren die Eigenschaften und Werte der Umwelt beeinflussen (*kontrollierte* Umgebungsvariablen). Die Menge der beobachteten und kontrollierten Umgebungsvariablen können sich ebenso überschneiden, wie die Mengen der Ein- und Ausgangsvariablen. Da die Werte der Variablen über die Zeit

1. Da oft die Sensoren als zum Gesamtsystem zugehörig angesehen werden, beschränkt die Bezeichnung "Steuerungsteil" das Augenmerk auf diejenigen Systemkomponenten, die die eigentliche Verarbeitungs- und Entscheidungslogik enthalten. In obiger Abbildung ist dies der mit "Software" bezeichnete Teil.

variieren, werden sämtliche Variablen als Zeitfunktionen (d.h. Funktionen über der Zeit) repräsentiert[1].

Das extern sichtbare Verhalten des Systems wird durch zwei Funktionen (bzw. Relationen) namens NAT (*nature*) und REQ (*required*) von den beobachteten auf die kontrollierten Variablen beschrieben. *NAT* beschreibt die Einschränkungen des Systems durch seine Umgebung, *REQ* spezifiziert das geforderte Verhalten.

NAT beschreibt konkret die Einschränkungen der Werte der Umgebungsvariablen durch die Umgebung. Diese Einschränkungen werden durch physikalische Gesetzmäßigkeiten, Geräte (Senoren, Aktuatoren) oder zuvor installierte Systeme hervorgerufen. Die NAT-Relation ist von Bedeutung, da sie explizit die Grenzen des möglichen Systemverhaltens beschreibt; eine vollständige Anforderungsbeschreibung braucht nur durch NAT Erlaubtes zu berücksichtigen.

Mit REQ wird das gewünschte, extern sichtbare Verhalten spezifiziert. Konkret werden Veränderungen in der Umgebung (Schalter gedrückt) mit Aktionen des Systems (Fenster öffnen) in Beziehung gesetzt. Durch die Beschreibung des Systemverhaltens REQ über die beobachteten und kontrollierten Variablen - anstatt über Eingangsvariablen und Ausgangsvariablen - können die Anforderungen in der Sprache der Umgebung (des Problems) abgefaßt werden und müssen nicht der Sprache des Rechners (der Lösung) beschrieben werden. Dies läßt hoffen, daß die Anforderungsspezifikation kundenverständlich bleibt.

1.2.2 Die A7-Notation

Die A7-Notation setzt sich aus fünf Konzepten zusammen: *Ereignisse / Ereignisklassen* (events / event classes), *Modi / Modeklassen* (modes / mode classes), *Bedingungen* (conditions), *Terme* (terms) und *Tabellen* (tables). Im folgenden werden Syntax und Semantik erläutert.

Ereignisklassen. Bei der Beschreibung des Verhaltens eines Systems sind häufig Ereignisse, d.h. bestimmte Zustandsübergänge von Interesse. Ereignisse treten jeweils zu konkreten Zeitpunkten auf, z.B. wenn eine Bedingung ihren Wahrheitswert wechselt. Typischerweise sind nicht nur einzelne Ereignisse, sondern Klassen von Ereignissen von Bedeutung. Zu einer Klasse von Ereignissen gehören alle Ereignisse, die den selben Wechsel einer Zustandsfunktion anzeigen. Ereignisklassen werden als

@T(B) bzw. als

@T(B) WHEN C

geschrieben, wobei B und C bool'sche Bedingungen sind und @T (gelesen "at true") andeutet, daß das entsprechende Ereignis zu dem Zeitpunkt eintritt, zu dem die Bedingung B von falsch auf wahr (true) wechselt (im zweiten Fall nur unter der Bedingung, daß zu diesem Zeitpunkt die Bedingung C wahr ist). Zu der @T-Notation existiert auch das entsprechende @F Pendant, welches Ereignisse beschreibt, die eintreten, wenn eine Bedingung von wahr auf falsch (false) wechselt.

Modeklassen. Der Gesamtsystemzustand kann häufig in disjunkte Bereiche, sogenannte Modeklassen, partitioniert werden, die jeweils semantisch zusammengehörige Teilaspekte des Systemzustandes abdecken. Innerhalb dieser Teilbereiche existieren wiederum häufig Gruppen von Teilsystemzuständen, innerhalb derer identisches Teil-

1. Zeit wird als streng monotom wachsende Realzahl modelliert.

systemverhalten erwartet wird. Derartige Gruppen werden in einem Modus (auch als *Mode* bezeichnet) zusammengefaßt. Ein Modus ist somit eine Äquivalenzklasse von Zuständen der Umgebungsgrößen[1], die durch ein Prädikat charakterisiert ist. Jeder Modus ist eindeutig einer Modeklasse zugeordnet und Modi müssen so gewählt sein, daß sich das System zu jedem Zeitpunkt bezüglich jeder Modeklasse in genau einem Modus befindet.

Eine Modeklasse und ihre Modes werden gewöhnlich durch eine *Modetransitionstabelle* definiert. Als *Modetransition* bezeichnet man den Wechsel von einem in den anderen Mode. Eine Modetransitionstabelle stellt eine Abbildung des vorherigen Modes auf einen neuen Mode in Abhängigkeit eines Ereignisses dar. Anstatt einzelner Ereignisse werden in aller Regel jedoch Ereignisklassen verwendet (auch wenn die Spaltenüberschrift weiterhin von Ereignissen und nicht von Ereignisklassen spricht).

alter Mode	Ereignis				neuer Mode
M_1	$E_{1,1}$				M_1
		$E_{1,2}$			M_2
			...		...
				$E_{1,n}$	M_n
...	...	...	...	...	...
M_n	$E_{n,1}$				M_1
		$E_{n,2}$			M_2
			...		...
				$E_{n,n}$	M_n

Modetransitionen finden zum Zeitpunkt der auslösenden Ereignisse in Nullzeit, d.h. ohne Zeitverzögerung statt. Modeübergänge, die in der Modetransitionstabelle nicht verzeichnet sind, können nie stattfinden. Treten Ereignisse gleichzeitig auf, und existieren für mehrere dieser Ereignisse Modeübergänge, so wird nicht-deterministisch einer der Modeübergänge traversiert.

Anstatt in einzelnen Tabellenzellen Ereignisse oder Ereignisklassen einzutragen, werden mit den Ereignisspalten häufig Bedingungen assoziiert und in die einzelnen Zellen wird dann nur noch @T bzw. @F eingetragen. In diesen Fällen können Ereignisklassen vom Typ @T(B) WHEN C (bzw. @F(B) WHEN C) auch dadurch ausgedrückt werden, daß in einer Zeile neben einem @T-Eintrag (bzw. @F) noch Einträge 'true' oder 'false' auftreten; diese bilden dann den WHEN-Teil der Ereignisklasse.

Für jede Modeklasse muß ferner der initiale Mode festgelegt werden, wobei auch (Start-)Bedingungen berücksichtigt werden können. Eine mittels Modetransitionstabelle definierte Modeklasse kann als Zustandsautomat betrachtet werden, wobei die

1. Als Zustand von Umgebungsgrößen wird hier sowohl der gegenwärtige Zustand, als auch die Historie aller vorangegangenen Zustände gesehen.

Modes den Zuständen entsprechen, und die Zustandsübergänge durch Ereignisse ausgelöst werden.

Bedingungen, Terme und Tabellen. Bedingungen sind Prädikate über dem Systemzustand; *Terme* sind Abkürzungen für komplexe Bedingungen. Im Falle von Modeklassen, die ausschließlich über Bedingungen und ohne Verwendung von Ereignissen definiert sind, sind die Modi der Modeklasse mit Termen gleichzusetzen. Die Definition solcher Modeklassen erfolgt über Bedingungstabellen:

Mode	Bedingung
M_1	P_1
...	...
M_n	P_n

Häufig werden über eine ähnliche Form von Bedingungstabellen die Werte der kontrollierten Umgebungsvariablen oder die Werte von Ausgangsvariablen in Abhängigkeit der Modi einer Modeklasse und weiteren Bedingungen definiert:

Mode	Bedingung		
M_1	$P_{1,1}$	...	$P_{1,m}$
...	...	...	...
M_n	$P_{n,1}$	...	$P_{n,m}$
V=	$Wert_1$	...	$Wert_m$

Die Tabelle besagt, daß die kontrollierte Variable V den Wert $Wert_j$ annimmt, wenn sich das System im Zustand M_i befindet und die Bedingung $P_{i,j}$ wahr ist. Für jede Zeile i müssen die Bedingungen der Spalten ($P_{i,1}$ ... $P_{i,m}$) disjunkt sein.

1.2.3 Zeitbegriff und Zeitfunktionen

Die Spezifikation der SCR/NRL-Technik hält einige vordefinierte Funktionen zur Beschreibung von Zeit und bestimmter Zeitpunkte bereit.

- Für die Beschreibung von Zeit steht in SCR/NRL die streng monoton wachsende, reellwertige Variable t zur Verfügung, die bei Systemstart mit 0 beginnt. Dieses t spiegelt lediglich eine kontinuierliche Änderung wider, entspricht aber nicht einem bestimmten Zeitformat (Begriffe wie Jahr, Monat, Tag, Stunde etc. machen auf t keinen Sinn).

- Mit einer geeigneten Abbildungsfunktion kann t weitere Semantik in Form eines konkreten Zeitformats zugeordnet werden. Nachfolgend unterstellen wir bei allen Zeitvariablen und -funktionen, daß implizit eine derartige Abbildung vorgenommen wird. D.h. insbesondere auch, daß bei allen nachfolgenden Verwendungen der Variable t eine entsprechende Abbildung unterstellt wird.
- *Drtn(P)* gibt für ein wahres Prädikat P die Zeitdauer (engl. duration) an, die das Prädikat bereits wahr ist. Ist P zur Zeit des Funktionsaufrufs falsch, liefert Drtn den Wert 0.

  Die Funktion Drtn wird meist in Verbindung mit der Prädikatsfunktion *Inmode(M)* verwendet, die den Wert "wahr" liefert, solange sich die Modeklasse, zu der der Modus M gehört, in selbigem Modus befindet. Befindet man sich also im Modus M, so gibt Drtn(Inmode(M)) die Zeitdauer an, die sich das (Teil-)System bereits (ununterbrochen) in diesem Modus befindet.
- Die Funktion *last(E)* liefert den Zeitpunkt in der Vergangenheit, zu dem zum letzten Mal ein Ereignis der Ereignisklasse E eingetreten ist. Ist seit des Systemstarts noch nie ein Ereignis aus E eingetreten, wird 0 zurückgeliefert.
- Die Funktion *next(E)* liefert den Zeitpunkt in der Zukunft, zu dem das nächste Mal ein Ereignis der Ereignisklasse E eintreten wird. Wird ein solches Ereignis niemals eintreten, wird in Erweiterung der reellen Zahlen der Wert "unendlich" zurückgeliefert. Wenngleich in der SCR/NRL-Definition der next-Funktion keine weiteren Einschränkungen genannt werden, und somit ein Blick in die Zukunft möglich wäre, sei die Funktion im folgenden so verstanden, daß eine Bestimmung des nächsten Eintretens eines entsprechenden Ereignisses "nach aktuellem Wissensstand des Systems" erfolgt, d.h. unter Berücksichtigung aller dem System zur Verfügung stehenden Informationsquellen. Es werden somit nur die mit Sicherheit vorhersehbaren Ereignisse berücksichtigt, in allen anderen Fällen liefere die Funktion "unendlich".

2 Variablen und Konstanten

Dieses Kapitel definiert die Konstanten und Variablen, auf denen die Spezifikation des Kontrollsystems im nachfolgenden Kapitel aufbaut.

Dem Datenfluß Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe folgend werden nach der Einführung einer Namenskonvention in den nächsten Abschnitten die beobachteten Umgebungsvariablen (2.2) aufgeführt und die Funktionen und Konstanten (2.3) definiert, die für die in Kapitel 3 beschriebene Verarbeitung beobachteter Umgebungsvariablen benötigt werden. Der abschließende Abschnitt führt die kontrollierten Umgebungsvariablen (2.4) auf, die in Kapitel 4 definiert werden.

Ein- und Ausgangsvariablen im Sinne des 4-Variablenmodells werden hier nicht betrachtet, da sie auf konkrete Ein-/Ausgabeports sowie konkrete Byte-Repräsentationen von Umgebungsvariablen abzielen und somit eher den Systementwurf betreffen. Im vorliegenden Spezifikationsdokument wird das gewünschte Systemverhalten durch die Relation REQ (vgl. 1.2.1) beschrieben, die Umgebungsvariablen ineinander abbildet.

2.1 Namenskonvention

Für das vorliegende Dokument wurden einige Konventionen festgelegt, die die Notation von Modes, Modeklassen, Variablen und Funktionen betreffen. Modes und Modeklassen werden groß geschrieben, Variablen und Funktionen klein. Variablen und Funktionen erhalten, wo möglich, einheitliche Namen gemäß nachfolgender Tabelle, wobei weitere Unterscheidungen durch tiefgestellte Namenszusätze vorgenommen werden.

Abkürzender Variablenname	Variablentyp
a	allgemeine Mengenvariable *(amount)*
d	Entfernungen *(distance)*
dir	Richtungen *(direction)*
e	Energien (Wärmeenergie, Windenergie, etc.)
h	Höhen
hum	Feuchtigkeitswerte *(humidity)*
l	Helligkeitswerte *(light / lux)*
s	Geschwindigkeiten *(speed)*
t	Zeiten *(time)*
[t]	Menge von Zeitintervallen
tmp	Temperaturen

Tabelle 6: Verwendete Abkürzungen für Variablennamen

2.2 Beobachtete Umgebungsvariablen

Klassifikation

Die folgende Tabelle klassifiziert die beobachteten Umgebungsvariablen nach Umgebungsaspekten, ordnet die in der Problembeschreibung aufgeführten Sensoren zu und nennt die nachfolgend verwendeten Variablennamen. Umgebungsaspekte, die nicht in die Raumsteuerung eingehen, sind in der Tabelle ohne Variablennamen aufgeführt. Das aus Kontrollsystemsicht ebenfalls als Sensor (für Benutzereingaben) anzusehende Panel ist in dieser Klassifikation nicht enthalten.

Umgebungs-aspekt	Teilaspekt	Beschreibung	Sensor-name	Var.-name
Türöffnung	geöffnet / geschlossen	Erkennung, ob Tür geöffnet oder geschlossen	dcc	door
	Öffnungswinkel	Erkennung, ob Tür mindestens 30° geöffnet	doc	-
	Verriegelung	Erkennung, ob Tür verriegelt (d.h. abgeschlossen)	dlc	-
Personen-anwesenheit		Meldung einer Bewegung im Raum	md	md
Heizung	Wassereingangs-temperatur	Eingangstemperatur des Heizwassers in den Heizkörper	wts	tmp_{water}
	Heizperiode	Erkennung der Heizperiode	noch nicht vereinbart	hp
Lüftung	Kippfenster geöffnet / geschlossen	Erkennung, ob das (obere) Kippfenster zur Ventilation geschlossen oder geöffnet ist.	scc_u	usc
	Hauptfenster geöffnet / geschlossen	Erkennung, ob der (untere) Hauptfensterflügel geschlossen oder geöffnet ist.	scc_l	lsc
	Hauptfenster Öffnungswinkel	Erkennung, ob der Hauptfensterflügel mindestens 30° geöffnet ist.	soc_l	-
	Hauptfenster Verriegelung	Erkennung, ob der Hauptfensterflügel manuell verriegelt wurde	slc_l	-
Lichtverhältnisse	Raumhelligkeit	Erkennung der Helligkeit im Raum	cls	l_{room}
	Sonnenstrahlung (außen)	Bestimmung der Stärke der Sonnenstrahlung auf die senkrechte südliche Außenwand	noch nicht vereinbart	e_{sun}

Umgebungs-aspekt	Teilaspekt	Beschreibung	Sensor-name	Var.-name
Raumklima	Luftfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeit im kontrollierten Raum	rhs	hum_{room}
	Raumtemperatur	Lufttemperatur im kontrollierten Raum	rts	tmp_{room}
Außenklima	Luftfeuchtigkeit	Außenluftfeuchtigkeit in der näheren Umgebung des Gebäudes	ohs	hum_{out}
	Außentemperatur	Außenlufttemperatur in der näheren Umgebung des Gebäudes	ots	tmp_{out}
	Windrichtung		wds	dir_{wind}
	Windgeschwindigkeit		wss	s_{wind}
	Regenstärke	Stärke des Niederschlages als Höhe einer Niederschlagsmeßsäule	ors	h_{rain}
Ortszeit		aktuelle Ortszeit in Begriffen der Anwendungsumgebung (Jahr, Monat, Stunden, Minuten etc.)[1]	-	t

1. Über die Parnas'sche Zeitvariable t lassen sich prinzipiell keine Aussagen zu Format, Größenordnung etc. machen. Gemäß Abschnitt 1.2.3 unterstellen wir aber eine Abbildung auf eine Variable mit entsprechendem Zeitformat, die der Verständlichkeit halber ebenfalls mit t bezeichnet sei.

Modellierung von Zeit

Zur Beschreibung von Zeit wird folgender Datentyp definiert:

$$\mathsf{T} ::= \{ (y, m_o, d, h, m_i, s) : y \in \mathbb{N}^+, m_o \in [1, ..., 12] \subseteq \mathbb{N}, d \in [1, ..., 31] \subseteq \mathbb{N},$$
$$h \in [0, ..., 23] \subseteq \mathbb{N}, m_i \in [0, ..., 59] \subseteq \mathbb{N}, s \in [0, ..., 59] \subseteq \mathbb{N},$$
$$\text{das Tupel } (y, m_o, d) \text{ ergebe ein gültiges Datum}\}.$$

Auf diesem Typ seien Relationen $<$ und $>$ gemäß der gewohnten Vorstellung von Zeitreihenfolge definiert. Je nach Zusammenhang, in dem sie verwendet werden, können Werte vom Typ T einzelne Zeitpunkte oder eine Zeitdauer beschreiben. Die Einheit solcher Werte vom Typ T ist definiert als TIME:

TIME ::= (Jahr, Monat, Tag, Stunde, Minute, Sekunde).

Um Mengen von Zeitintervallen anzugeben, wird der Datentyp TI definiert als

$$\mathsf{TI} ::= \{ (t_1, t_2) : t_i \in \mathsf{T}, t_1 < t_2 \}.$$

Liste der beobachteten Umgebungsvariablen

In den drei nachfolgenden Tabellen werden sämtliche durch das Kontrollsystem beobachteten Umgebungsvariablen definiert. Alle Umgebungsvariablen sind Funktionen der Zeit (was nachfolgend nicht mehr explizit dargestellt wird). Die Variablen sind unterteilt in *Umgebungsgrößen*, die mit dedizierten Sensoren gemessen werden (Tabelle 7), in *Benutzervorgaben*, die der Benutzer an einem Terminal verändern kann (Tabelle 8), und in *feste Grenzwerte*, die in Absprache mit dem Benutzer für das System in der Initialisierungsphase fest vorgegeben werden (Tabelle 9). Für die Benutzervorgaben dient das Terminal als gemeinschaftlicher, virtueller Sensor für alle Benutzereingaben. Wird die Angabe einer Einheit für eine Variable weggelassen bzw. wird [1] angegeben, so hat die entsprechende Variable keine Einheit.

Variable	**Wertebereich [Einheit]**		**Bedeutung**
		Wert	
door	{opened, closed}		Öffnungsgrad der Tür
		opened	Tür geöffnet (>0 Grad Öffnungswinkel)
		closed	Tür geschlossen
md	{true, false}		Bewegungsmelder
		true	es wird gerade eine Bewegung erfaßt
		false	keine Bewegung erfaßt
hp	{true, false}		Heizperiode ?
		true	man befindet sich in der Heizperiode
		false	man befindet sich nicht in der Heizp.
usc	{true, false}		upper sash closed?
		true	Lüftungskippfenster geschlossen
		false	Lüftungskippfenster offen
lsc	{true, false}		lower sash closed?
		true	Unteres Fensterteil geschlossen
		false	Unteres Fensterteil offen
tmp_{water}	$\mathbb{R}$ [°C]		Einlauftemperatur des Heizwassers in den Heizköper
tmp_{room}	$\mathbb{R}$ [°C]		Raumtemperatur
tmp_{out}	$\mathbb{R}$ [°C]		Außentemperaatur
hum_{room}	$[0,...,100] \subseteq \mathbb{R}$ [%]		Luftfeuchtigkeit im Raum
hum_{out}	$[0,...,100] \subseteq \mathbb{R}$ [%]		Luftfeuchtigkeit außen

Tabelle 7: Umgebungsgrößen

Variable	Wertebereich [Einheit]		Bedeutung
		Wert	
t	T [TIME]		aktuelle Ortszeit in Begriffen der Anwendungsumgebung (Stunden, Minuten etc.)
s_{wind}	$\mathbb{R}$ [ms^{-1}]		Windgeschwindigkeit
h_{rain}	$[0, ..., 100] \subseteq \mathbb{R}$ [mm]		Regenmenge seit letztem Reset des Sensors (Reset automatisch alle 24h)
dir_{wind}	$[0, ..., 359] \subseteq \mathbb{N}$ [°]		Windrichtung in der nächsten Umgebung des Gebäudes
l_{room}	$\mathbb{R}^+$ [lux]		Lichtmenge im kontrollierten Raum
e_{sun}	$\mathbb{R}$ [1]		Lichteinfall von außen in den Raum.

Tabelle 7: Umgebungsgrößen

Variable	Wertebereich [Einheit]	Bedeutung
$[t]_{working\ habits}$	TI [TIME, TIME]	Arbeitszeiten des Bewohners
$[t]_{vacations}$	TI [TIME, TIME]	Urlaubszeiten des Bewohners
$[t]_{holidays}$	TI [TIME, TIME]	Feiertage
t_1	T [TIME]	siehe Problembeschreibung, Seite 3
t_2	T [TIME]	siehe Problembeschreibung, Seite 3
t_3	T [TIME]	siehe Problembeschreibung, Seite 3
t_4	T [TIME]	Zeitspanne, während derer nach einer registrierten Personenanwesenheit weiterhin angenommen wird, daß sich eine Person im Raum befindet, obwohl keine Bewegung mehr registriert wird.
t_{urh}	T [TIME]	user required heat-up time: Zeitspanne, innerhalb der das System von Standby- auf Komforttemperatur heizen können muß
t_{vent}	T [TIME]	Dauer, für die standardmäßig gelüftet werden soll
$t_{vperiod1}$	T [TIME]	Abstand zwischen Lüftungsvorgängen während einer Raumbelegung

Tabelle 8: Benutzervorgaben

Variable	Wertebereich [Einheit]	Bedeutung
$t_{vperiod2}$	T [TIME]	Abstand zwischen Lüftungsvorgängen außerhalb von Belegungszeiten
$[t]_{cv}$	TI [TIME, TIME]	Komfortvorgabezeiten des Bewohners
tmp_{cf}	$\mathbb{R}$ [°C]	gewünschte Komforttemperatur

Tabelle 8: Benutzervorgaben

Variable	Werte-bereich	Wert	Bedeutung
$e_{sun,heat}$	$\mathbb{R}[1]$		Schwellwert, ab dem die Sonneneintrahlung deutlich zur Erwärmung des Raumes beiträgt (sofern kein Rollo sie am Eindringen hindert :-)
$e_{sun,max}$	$\mathbb{R}[1]$		Schwellwert der Sonneneintrahlung, der nicht überschritten werden soll (wegen zerstörerischer Wirkung auf Papier etc.)
$e_{rain,max}$	$\mathbb{R}[1]$		Regenstärke, ab der Wasser bei geöffnetem Fenster in den Raum eindringt.
$e_{wind,max}$	$\mathbb{R}[1]$		Windstärke, ab der Beschädigung der Ausstattung im Raum auftreten kann
$e_{wind,max-blind}$	$\mathbb{R}[1]$		Windstärke, ab der Beschädigung der Jalousie auftreten kann.
hum_{min}	$[0,...,100] \subseteq \mathbb{R}[\%]$		minimal akzeptable Luftfeuchtigkeit
hum_{max}	$[0,...,100] \subseteq \mathbb{R}[\%]$		maximal akzeptable Luftfeuchtigkeit

Tabelle 9: feste Grenzwerte

2.3 Basisfunktionen

Für die Spezifikation des gewünschten Systemverhaltens bzw. der gewünschte Verarbeitung der Eingangsvariablen werden nachfolgend grundlegende Funktionen aufgeführt, auf denen die in Kapitel 3 beschriebene Verarbeitung der Eingangsvariablen basiert.

In einige Funktionen gehen auch verschiedene Raumcharakteristika ein (Größe der Fenster und Wände, Wärmeleitfähigkeit der Fenster und Wände, Nominalleistung der Heizkörper etc.). Um an dieser Stelle die Parameterflut gering zu halten, ist in solchen Fällen in Tabelle 10 lediglich *ein* Pseudoparameter rc vom Typ RC (für "room characteristics") stellvertretend für diverse Raumparameter angegeben. Die in rc eingehenden Raumparameter werden in der Tabelle 12 zusammengefassend beschrieben. Bei späteren Referenzierungen von Funktionen werden die Raumparameter (bzw. der Pseudoparameter) nicht mehr angegeben.

Funktion	**Signatur**	**Argumente** **Wert [Einheit]**	**Bedeutung**
$[t]_{bv}$	$TI \times TI \times TI \rightarrow TI$	$[t]_{working\ habits}$, $[t]_{vacations}$, $[t]_{holidays}$ [TIME, TIME]	Belegungsvorgabezeiten, zusammengestellt aus Arbeitszeiten, Ferien- und Feiertagen
tmp_{of}	$\mathbb{R}$	- keine - 4 [°C]	Minimale Raumtemperatur zu "offtime"-Zeiten
tmp_{sb}	$RC \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$	rc, tmp_{cf}, t_{urh} [°C]	Standby-Temperatur, berechnet aus der Komforttemp. und der maximal erlaubten Aufheizzeit.
$t_{hup\text{-}S}$	$RC \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow T$	rc, tmp_{room}, tmp_{sb} [TIME]	Aufheizzeit von der aktuellen Raumtemperatur auf Standby-Temperatur
$t_{hup\text{-}C}$	$RC \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow T$	rc, tmp_{room}, tmp_{cf} [TIME]	Aufheizzeit von der aktuellen Raumtemperatur auf Komforttemperatur
e_{hup}	$RC \times T \rightarrow \mathbb{R}$	rc, t_x [Ws]	Energie, die während der Zeit t_x bei maximaler Heizleistung umgesetzt wird
e_{hold}	$RC \times T \rightarrow \mathbb{R}$	rc, t_x [Ws]	Energie, die benötigt wird, die aktuelle Raumtemperatur für eine Zeitdauer t_x beizubehalten

Tabelle 10: Basisfunktionen

Funktion	Signatur	Argumente / Wert [Einheit]	Bedeutung
intensity-rain	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$	h_{water}	Regensärke, entsprechend der Änderung des Wasserstandes in der Regenmeßsäule
		$\frac{dh_{water}}{dt}$ [1]	
intensity-wind	$RC \times \mathbb{N} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$	rc, dir_{wind}, s_{wind}	Wert für tatsächliche Windintensität, berechnet aus Lage des Fensters, Windrichtung und Windgeschwindigkeit
		[1]	
$t_{hup:S\text{-}C}$	$T \rightarrow T$	t_{urh}	Aufheizzeit von der Standby-Temperatur auf die Komforttemperatur (ist gleich der 'user required heat-up time')
		t_{urh} [TIME]	

Tabelle 10: Basisfunktionen

Die nachfolgende Tabelle gibt die Funktionen zu denjenigen obigen Variablen an, die durch physikalische Eigenschaften und nicht durch das Kontrollsystem bestimmt sind:

Variable	Funktion	Bemerkungen
tmp_{sb}	$tmp_{max} - (tmp_{max} - tmp_{cf}) \cdot e^{\frac{t_{urh}}{tau_{room}}}$	tmp_{sb} berechnet sich als minimale Raumtemperatur, bei welcher ein Aufheizen auf tmp_{cf} noch innerhalb von t_{urh} gewährleistet werden kann (vgl. dazu Constraint-Modell vom 8.1.96, Seite 3, Funktion "heating")
$t_{hup\text{-}S}$	$tau_{room} \cdot \ln\left(\frac{tmp_{max} - tmp_{room}}{tmp_{max} - tmp_{sb}}\right)$	$t_{hup\text{-}S}$ berechnet sich zur minimal benötigten Aufheizzeit von der aktuellen Raumtemperatur tmp_{room} auf die tmp_{sb}
$t_{hup\text{-}C}$	$tau_{room} \cdot \ln\left(\frac{tmp_{max} - tmp_{room}}{tmp_{max} - tmp_{cf}}\right)$	$t_{hup\text{-}C}$ berechnet sich zur minimal benötigten Aufheizzeit von der aktuellen Raumtemperatur tmp_{room} auf tmp_{cf}

Tabelle 11: Physikalische Zusammenhänge (approximativ)

Variable	Funktion	Bemerkungen
e_{hup}	$\int_{t_x}\left(\frac{tmp_{water} - tmp_{room}}{70°} \cdot Q_{rad}\right)dt_x$	e_{hup} berechnet sich zur Energieabgabe des Heizkörpers während eines t_x langen Aufheizvorgangs (bei vollständig geöffnetem Ventil, d.h. bei maximaler Heizleistung)
e_{hold}	$\int_{t_x}\left(\sum_{wall} Q_{f,\,wall} + \sum_{win} Q_{f,\,win} + E_v Q_{win}\right)dt_x$	e_{hold} gibt die Energie an, die benötigt wird, die aktuelle Raumtemperatur eine Zeit t_x lang beizubehalten. E_v ist der aktuelle Sonneneinstrahlungswert auf die Fensterfläche

Tabelle 11: Physikalische Zusammenhänge (approximativ)

Bei obigen Formeln kommen zahlreiche Vereinfachungen zum tragen. Diese bestehen zum einen darin, von vorneherein vereinfachte, lediglich approximative Formeln zu wählen (wie bereits im Constraint-Modell vom 8.1.96 geschehen), zum anderen in der Vernachlässigung nicht konkret bestimmbarer Parameter (wie z.B. die durch Körper anwesender Personen bedingte zusätzliche Wärmeleistung im Raum). Für genauere Formeln und Parameterlisten sei auf das Referenzmodell vom 1.12.1995 verwiesen.

Die konkret bestimmbaren Parameter, die zum tragen kommen, sind in Tabelle 12 aufgeführt. Sie sind ebenso wie die Benutzervorgaben (vgl. Tabelle 8) in der Initialisierungsphase des Systems mit geeigneten Werten zu belegen.

Parameter	Beschreibung / Wert
tmp_{max}	maximal erreichbare Raumtemperatur, $tmp_{max} = 21{,}5°C$ gemäß Constraint-Modell, Seite 3
tau_{room}	Zeitkonstante für diesen Raum, ca. 2000s, vgl. z.B. Referenzmodell Seite 9
Q_{rad}	Nominale Heizleistung der/des Heizkörper(s) im Raum, ca. 4000W, vgl. z.B. Referenzmodell Seite 20 (Q_{HIN})
$Q_{f,wall}$	Wärmefluktuation durch eine Wand $= \text{Wandfläche} \cdot k \cdot (tmp_{room} - tmp_{out})$ wobei die Konstante k durch die Wärmeleitfähigkeit der Wand bestimmt ist
$Q_{f,win}$	entspricht $Q_{f,wall}$, sinngemäß auf Fenster übertragen
Q_{win}	Dämpfung zusätzlicher sonnenbedingter Wärmeleistung $= \text{Gesamtfensterfläche} \cdot g \cdot u_{shade}$ wobei g dem Übertragungsfaktor der Fensterscheiben (ca. 0,7 bis 0,9) und u_{shade} dem prozentualen Anteil der durch die Jalousie hindurchgelassenen Strahlung entspricht

Tabelle 12: Parameter der Raumcharakteristik

2.4 Kontrollierte Umgebungsvariablen

Nachfolgend werden die Umgebungsvariablen angegeben, die durch das Kontrollsystem kontrolliert werden. Für die Variable 'radiator' wird das Vorhandensein eines Regelmoduls vorausgesetzt, welches anhand einer Temperaturvorgabe ($tmp_{desired}$) das Heizungsventil geeignet einstellt, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen.

Für die Variable 'upper_sash' wird angenommen, daß ein entsprechendes Ansteuerungsmodul (ähnlich wie bei 'radiator') existiert, welches die Werte 'open', 'manual' und 'closed' in die geeignete Ansteuerung des Motors umsetzt.

Die Variable 'show_msg' beschreibt das Panel als Aktuator. Veränderungen des Panels sind nur auf dem Display möglich, so daß die Veränderung des Panels einem Beschreiben der entsprechenden Ausgangsvariable 'show_msg' mit einem Meldungsstring gleichkommt.

Variable	Funktion	Wert	Bedeutung
upper_sash	{open, manual, closed}		Ansteuerung des Fenster-Aktuators
		open	Das Fenster ist zu öffnen
		manual	Das Fenster ist manueller Kontrolle durch den Benutzer zu übergeben
		closed	Das Fenster ist zu schließen
dimmer			dimmer
radiator	{off, on} x IR		Ansteuerung des Heizkörpers
		(off, *)	Der Heizkörper wird nicht benutzt (keine Heizreglung)
		(on, tmp)	Der Heizkörper wird so angesteuert, daß die Raumtemperatur tmp nach Möglichkeit erreicht wird
show_msg	Char[20]		Anzeige des Inhalts von 'show_msg' auf dem Paneldisplay
$blind_{lifting}$	{up, down, l_{max}, $l_{tmp\text{-}const}$}		Stellung der Jalousie. up: 0%-ganz oben, down: 100%-ganz heruntergelassen
$blind_{rotation}$	{closed, open}		Stellwinkel der Jalousielamellen. Bei closed: 180 Grad, vollständig lichtundurchlässig, open: 0 Grad keine Abdunkelung

Tabelle 13: Konrollierte Umgebungsvariablen

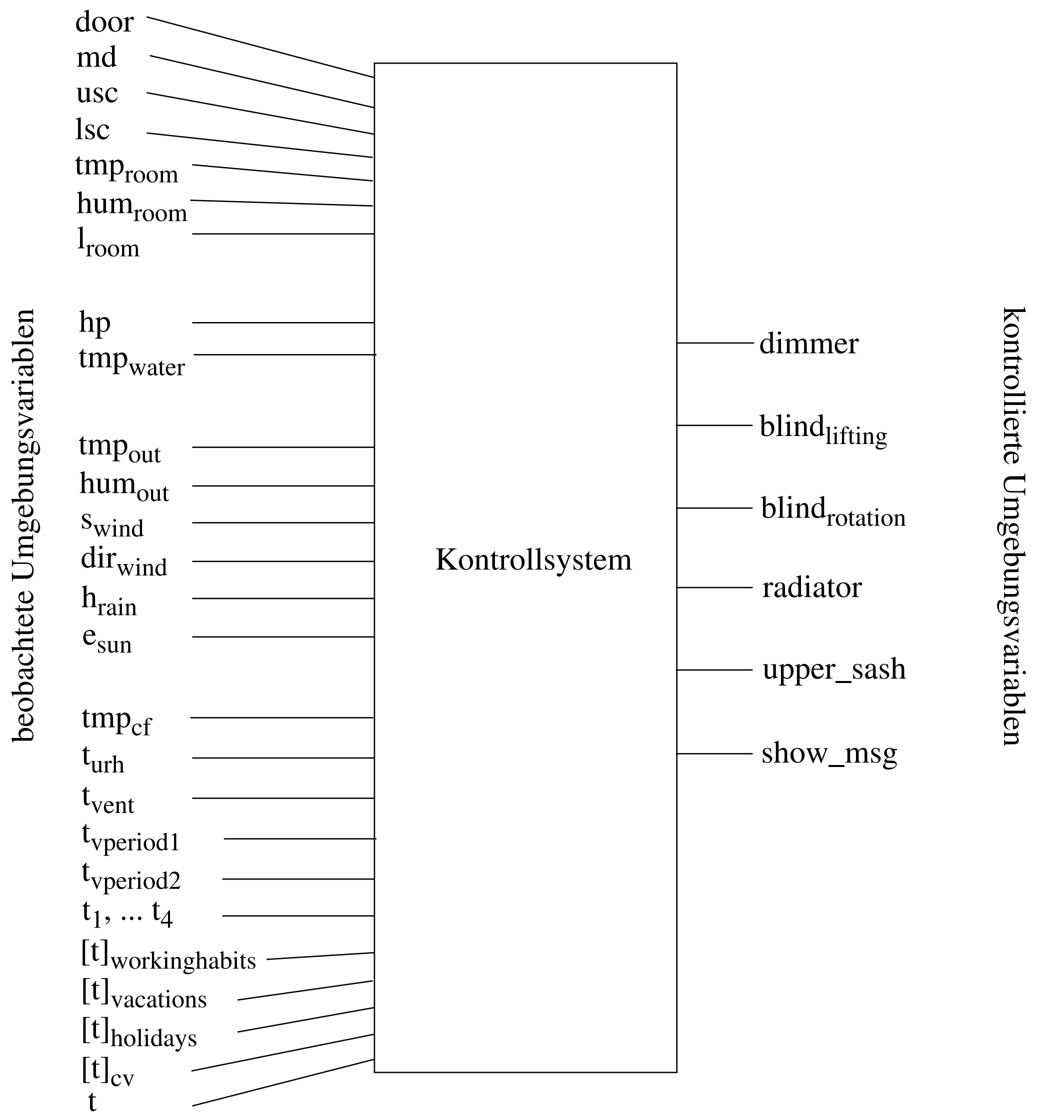
3 Terme und Modeklassen

Die in diesem Kapitel definierten Terme und Modeklassen verarbeiten die Eingangsvariablen und bilden die Basis zur Definition der Ausgangsvariablen in Kapitel 4. In Abschnitt 3.1 wird überblickartig die Einbettung des Kontrollsystems in ein Umfeld aus Sensoren und Aktuatoren beschrieben, während im nachfolgenden Abschnitt 3.2 ein Überblick über die Strukturierung des Systems in Terme und Modeklassen gegeben wird. In den Abschnitten 3.3 bis 3.13 werden die einzelnen Terme und Modeklassen zur Verarbeitung der Eingangsvariablen definiert.

3.1 Einbettung des Kontrollsystems

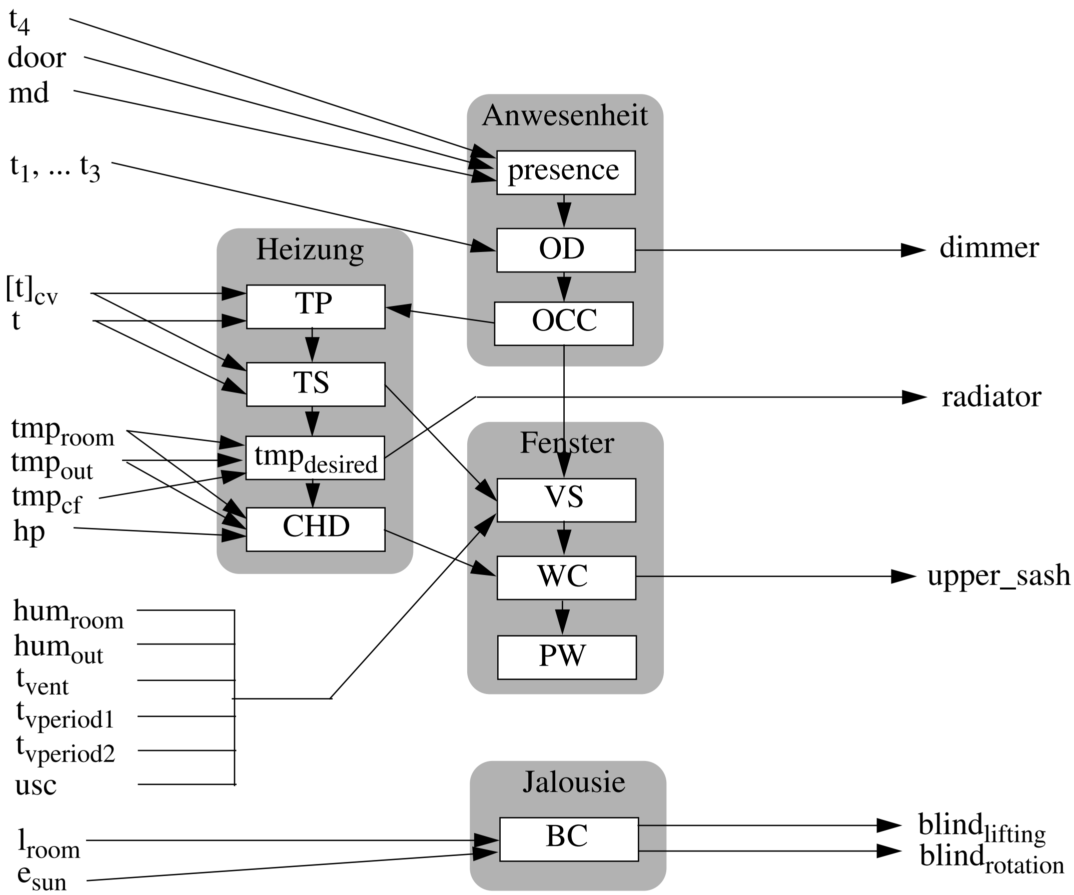
Das Kontrollsystem ist eingebettet in ein Umfeld aus Sensoren und Aktuatoren. Sensoren erfassen die Werte von (beobachteten) Umgebungsvariablen und liefern dem Kontrollsystem die Werte seiner Eingangsvariablen. Entsprechend verarbeiten Aktuatoren die Ausgangsvariablen des Kontrollsystems und beeinflussen somit die Werte der kontrollierten Umgebungsvariablen.

Die Abbildung zeigt das Kontrollsystem aus der „blackbox“-Sicht:



3.2 Interne Strukturierung

Nachfolgende Graphik präsentiert auf informelle Weise die Grobstruktur der Spezifikation als voneinander abhängige Modeklassen und Terme. Auf der linken Seite werden auszugsweise beobachtete Umgebungsvariablen, auf der rechten Seite sämtliche kontrollierte Umgebungsvariablen aufgeführt. Rechtecke stellen Modeklassen oder Terme dar, wobei logisch zusammengehörige Modeklassen und Terme zu Modulen gruppiert sind (grau hinterlegte Flächen). Derzeit existiert ein Modul zur Erkennung einer Personenanwesenheit, sowie ein Modul für jedes angesteuerte "Gerät" (Heizung, Fenster, Jalousie, Ausnahme: Licht). Pfeile repräsentieren Abhängigkeiten in dem Sinne, daß Zustände von Modeklassen bzw. Werte von Termen in anderen Modeklassen oder Termen abgefragt und zur Formung von Bedingungen oder Ereignissen verwendet werden.



3.3 Terme certain_presence und presence

Der Term certain_presence nimmt genau dann den Wert certain an, wenn *mit Sicherheit* davon ausgegangen werden kann, daß sich jemand im Raum befindet. Dies ist der Fall, solange der Bewegungsmelder eine Bewegung registriert oder wenn seit der letzten registrierten Bewegung die Zimmertür permanent geschlossen war (es wird davon ausgegangen, daß der Bewohner den Raum grundsätzlich nur durch die Tür verläßt und sich nicht beispielsweise aus dem Fenster springt :-).

Bedingung	certain_ presence =
(md=true) OR (last(@T(door = opened)) < last(@T(door = closed)) < last(@T(md))	certain
NOT (certain_presence=certain)	uncertain

Tabelle 14: Bedingungstabelle für certain_presence

Der Term presence legt über die Anwesenheitserkennung eine zeitliche Unschärfe von t_4 Zeiteinheiten, so daß auch noch bis zu t_4 Zeiteinheiten nach einer gesicherten Bewegungserkennung eine Anwesenheit angenommen wird. Anm.: t_4 hat eine *ähnliche* Bedeutung wie t_3, aber nicht die selbe.

Bedingung	presence =
(certain_presence=certain) OR (t - last(@F(md)) < t_4)	assumed
NOT (presence=assumed)	not-assumed

Tabelle 15: Bedingungstabelle für presence

3.4 Modeklasse OD (occupancy detection)

Die Modeklasse OD dient der Erkennung einer Raumbelegung mit Hilfe der Bewegungsmelder und der Türkontakthistorie. Es wird vom zuvor definierten Term 'presence' Gebrauch gemacht.

Mode	Bedeutung
EMPTY	Personenanwesenheit wird nicht angenommen und keine Bewegung wird gemeldet.
PRESENT	Bewegung gemeldet, Personenanwesenheit wird aber noch nicht angenommen.
ENTERED	Es wurde häufig und lange genug eine Bewegung registriert, so daß eine Personenanwesenheit jetzt angenommen wird.

Tabelle 16a: Beschreibung der Modeklasse OD

Mode	Bedeutung
OCCUPIED	Anwesenheit erkannt und lange genug andauernd, um den Raum als "für längere Zeit belegt" anzusehen. Der Unterschied zum Mode ENTERED besteht in den Auswirkungen, die ein Verlassen des Raumes auf die einzuregelnde Temperatur hat (vgl. Zustandsgraph in der Problembeschreibung Seite 3).
NOT-PRESENT	Anwesenheit wird angenommen, seit einiger Zeit aber wurde keine Bewegung mehr erkannt.

Tabelle 16a: Beschreibung der Modeklasse OD

Der Zustandsautomat beginnt im Zustand EMPTY. Sobald eine Bewegung erkannt wurde ('presence'=certain), wird in den Zustand PRESENT gewechselt. Kann eine Raumbelegung nicht mehr mit Sicherheit angenommen werden, so geht der Zustandsautomat wieder in den Mode EMPTY. Tritt dieser Fall jedoch nicht ein und bleibt der Mode PRESENT somit für eine Zeitdauer $t_1$erhalten, so wird in den Mode ENTERED gewechselt. Zu diesem Zeitpunkt wird eine Raumbelegung erstmals als signifikant angesehen, was Auswirkungen auf die einzustellende Raumtemperatur hat. Sollte innerhalb der Zeitdauer t_2 (vom Wechsel in den Zustand ENTERED an gerechnet) eine Personenanwesenheit nicht mehr sicher erkannt werden ('presence' = uncertain), so fällt der Automat wieder in den Mode EMPTY zurück. Andernfalls wird nach t_2 in den Mode OCCUPIED gewechselt, aus dem nicht mehr direkt in EMPTY zurückgefallen werden kann. Wenn eine Personenanwesenheit nicht mehr registriert wird, wird zunächst in Mode NOT-PRESENT gewechselt. Erst wenn eine Anwesenheit für einen längeren Zeitraum als t_3 nicht mehr erkannt wird, wird der Mode EMPTY angenommen.

Die Modeklasse OCC realisiert somit den Zustandsautomaten auf Seite 3 der Problembeschreibung.

Mode	Event				New mode
	presence = assumed	Drtn(Inmode(PRESENT)) $\geq t_1$	Drtn(Inmode(ENTERED)) $\geq t_2$	Drtn(Inmode(NOT-PRESENT)) $\geq t_3$	
EMPTY	@T				PRESENT

Tabelle 16.b: Modeübergangstabelle für Modeklasse OD

Mode	Event				New mode
	presence = assumed	Drtn(Inmode(PRESENT)) $\geq t_1$	Drtn(Inmode(ENTERED)) $\geq t_2$	Drtn(Inmode(NOT-PRESENT)) $\geq t_3$	
PRESENT	@F				EMPTY
		@T			ENTERED
ENTERED	@F				EMPTY
			@T		OCCUPIED
OCCUPIED	@F				NOT-PRESENT
NOT-PRESENT	@T				OCCUPIED
				@T	EMPTY

Tabelle 16.b: Modeübergangstabelle für Modeklasse OD

Initial: IF presence=assumed THEN
OD = PRESENT
ELSE
OD = EMPTY

3.5 Modeklasse OCC (occupancy)

Während die Modeklasse OD für die korrekte Umsetzung der Zeitanforderungen bei der Erkennung einer Raumbelegung sorgt (t_1 bis t_3, entsprechend T_1 bis T_3 aus der Problembeschreibung), ist für das Kontrollsystem letztendlich nur interessant, ob eine Raumbelegung signifikant ist, oder nicht. Die Modeklasse OCC faßt somit die Zustände aus OD zu den beiden Hauptzuständen SIGNIFICANT und NOT-SIGNIFICANT zusammen. Die Modeklasse OCC wird nicht durch Ereignisse und Zustandsübergänge, sondern durch Bedingungen definiert.

Mode	Bedeutung
SIGNIFICANT	Raumbelegung signifikant
NOT-SIGNIFICANT	Raumbelegung nicht signifikant oder Raum definitiv nicht belegt.

Tabelle 17.a: Beschreibung der Modeklasse OCC

Mode	Bedeutung
SIGNIFICANT	OD=ENTERED OR OD=OCCUPIED OR OD=NOT-PRESENT
NOT-SIGNIFICANT	OD=EMPTY OR OD=PRESENT

Tabelle 17.b: Definition der Modeklasse OCC

3.6 Modeklasse TP (time period)

Die Modeklasse TP spiegelt die drei wesentlichen Zeitspannen wieder, die in Absatz 1 der Problembeschreibung genannt werden. TS ist somit eine wesentliche Komponente des Gesamtsystemzustandes des Kontrollsystems.

Man beachte, daß diese Modeklasse nicht direkt zur Ansteuerung der Heizkörper verwendet werden kann, da Heizvorgänge aufgrund der stark verzögerten Wirkung i.d.R. bereits *vor* Beginn der jeweiligen Zeitspannen eingeleitet werden müssen. Aus diesem Grund wurde eine weitere Modeklasse TS (temperatur state) eingeführt (siehe Abschnitt 3.7).

Mode	Bedeutung
OFFTIME	Es existieren zum aktuellen Zeitpunkt keine besonderen Vorgaben. Die Raumtemperatur darf bis auf einen Mindestwert absinken, eine Raumbelegung ist weder aktuell gegeben, noch wird sie erwartet.
STANDBY	Eine Raumbelegung wird erwartet (Belegungsvorgabezeit). Die Raumtemperatur ist so zu wählen, daß bei tatsächlicher Raumbelegung schnell genug auf Komforttemperatur aufgeheizt werden kann.
COMFORT	Der Raum ist signifikant belegt oder es herrscht gerade eine Komfortvorgabe. Die Raumtemperatur muß der Komforttemperatur entsprechen.

Tabelle 18a: Beschreibung der Modeklasse TP

Der Zustand COMFORT wird angenommen, sobald eine Raumbelegung signifikant ist oder aber man sich in einer Komfortvorgabezeit befindet. STANDBY wird angenommen, wenn Belegungsvorgabezeit herrscht und die Bedingung für COMFORT nicht erfüllt ist. OFFTIME gilt zu allen sonstigen Zeiten.

Mode	Bedingung
OFFTIME	NOT (TP=STANDBY OR TP=COMFORT)
STANDBY	$t \in [t]_{bv}$ AND $t \notin [t]_{cv}$ AND OCC=NOT-SIGNIFICANT
COMFORT	$t \in [t]_{cv}$ OR OCC=SIGNIFICANT

Tabelle 18.b: Beschreibung der Modeklasse TP

3.7 Modeklasse TS (temperatur state)

Die Modeklasse TS bestimmt den Typ der einzustellenden Raumtemperatur (OFT, SBT oder CFT) in Abhängigkeit einer Raumbelegung und der Belegungs- und Komfortvorgaben des Benutzers. Die einzelnen Modes von TS korrespondieren mit denen der Klasse TP (siehe Abbildung 3.6, „Modeklasse TP (time period),“ auf Seite 34), werden jedoch teilweise zeitlich früher eingenommen, um bereits vor dem Beginn bestimmter Zeitspannen mit dem Aufheizvorgang zu beginnen.

Mode	Bedeutung
VOID-TEMP	Die Mindesttemp. tmp_{of} darf nicht unterschritten werden.
STDBY-TEMP	Die Standby-Temperatur tmp_{sb} darf nicht unterschritten werden
COMF-TEMP	Die Komforttemperatur tmp_{cf} ist einzuhalten.

Tabelle 19a: Beschreibung der Modeklasse TS

Der Modus COMF-TEMP wird in der Komfortzeitperiode (TP=COMFORT) eingenommen oder sobald die nächste Komfortvorgabezeit in so naher Zukunft ansteht, daß mit dem Aufheizen auf Komforttemperatur begonnen werden muß. Der Modus STDBY-TEMP wird eingenommen, wenn man sich in der STANDBY-Zeitperiode befindet oder die nächste Belegungsvorgabezeit entsprechend bald ansteht, so daß mit dem Aufheizen begonnen werden muß (wobei nicht gleichzeitig die Bedingungen für den Zustand COMF-TEMP erfüllt sein sollen). Zu allen übrigen Zeiten gilt der Modus VOID-TEMP.

.

Mode	Bedingung
VOID-TEMP	NOT (TS=STDBY-TEMP OR TS=COMF-TEMP)
STDBY-TEMP	TP=STANDBY OR (next(@T($t \in [t]_{cv}$))-t < $t_{hup\text{-}C}$ AND NOT(TS=COMF-TEMP))
COMF-TEMP	TP=COMFORT OR next(@T($t \in [t]_{cv}$))-t < $t_{hup\text{-}C}$

Tabelle 19b: Beschreibung der Modeklasse TS

3.8 Term $tmp_{desired}$

Der Term $tmp_{desired}$ bestimmt die aktuell erforderliche Raumtemperatur. Verlangt der Temperaturmodus (Term TS) Komforttemperatur (TS=COMF-TEMP), so ist ohne weitere Bedingungen die Komforttemperatur tmp_{cf} einzuhalten. In den anderen Temperaturmodi (VOID-TEMP und STDBY-TEMP) hat man während der Heizperiode (hp=true) jedoch die Wahl, die aktuelle Temperatur zu halten (aus Sicherheitsgründen max (tmp_{of} , tmp_{room})), oder die Raumtemperatur auf den unteren erlaubten Wert (tmp_{of} während VOID-TEMP bzw. tmp_{sb} während STDBY-TEMP) abfallen zu lassen. Diese Entscheidung wird nach minimalem Energieverbrauch gefällt: ist der Energieaufwand zum Halten der aktuellen Temperatur (e_{hold} bis zum nächsten erwarteten Aufheizen) geringer als die Energie zum nächsten Aufheizen (e_{hup} für die Dauer des Aufheizens), so wird die Temperatur gehalten, ansonsten darf sie bis auf die Mindesttemperatur im jeweiligen Temperaturmodus absinken.

Die untenstehend angegebenen Bedingungen stellen dabei nur eine Näherung dar. Beim Vergleich mit der Aufheizenergie bleibt beispielsweise unberücksichtigt, daß ggf. auch Energie zum Halten der Mindesttemperatur aufgewendet werden muß (dieser Anteil wäre der Aufheizenergie zuzurechnen). Es wird jedoch davon ausgegangen, daß die angegebenen Bedingungen hinreichend genaue sind.

Für die Zeit außerhalb der Heizperiode (hp=false) lassen sich Aufheizzeiten (und damit auch die daraus berechnete tmp_{sb}) nicht mehr angeben, da nicht geheizt werden kann. In diesem Fall wird $tmp_{desired}$ als tmp_{of} bzw. als tmp_{cf} gewählt.

Bedingung		**$tmp_{desired}$ =**
hp=true	TS= COMF-TEMP	tmp_{cf}
	TS= VOID-TEMP AND (e_{hold}(next(@T(TS=COMF-TEMP))-t) < e_{hup} ($t_{hup\text{-}C}$) OR e_{hold}(next(@T(TS=STBY-TEMP)) - t) < e_{hup} ($t_{hup\text{-}S}$))	max (tmp_{of} , tmp_{room})
	TS= VOID-TEMP AND (e_{hold}(next(@T(TS=COMF-TEMP))-t) ≥ e_{hup} ($t_{hup\text{-}C}$) AND e_{hold}(next(@T(TS=STBY-TEMP)) - t) ≥ e_{hup} ($t_{hup\text{-}S}$))	tmp_{of}
	TS= STDBY-TEMP AND e_{hold}(next(@T(TS=COMF-TEMP)) - t) < e_{hup} ($t_{hup\text{-}C}$)	max (tmp_{sb} , tmp_{room})
	TS= STDBY-TEMP AND e_{hold}(next(@T(TS=COMF-TEMP)) - t) ≥ e_{hup} ($t_{hup\text{-}C}$)	tmp_{sb}
hp=false	TS= COMF-TEMP	tmp_{cf}
	TS= VOID-TEMP OR TS= STDBY-TEMP	tmp_{of}

Tabelle 20: Bedingungstabelle für $tmp_{desired}$

3.9 Modeklasse CHD (cooling & heating devices)

Diese Modeklasse beschreibt, welche Geräte gerade z.Z. unter Energiespargesichtspunkten zum Heizen und/oder Kühlen verwendet werden.

Mode	Bedeutung
RADIATOR	Heizen nur mit Heizkörper
HWINDOW	Heizen nur durch Fenster
RADWIN	Heizen mit Heizkörper und Fensterunterstützung (?)
OFF	Heizen oder Kühlen nicht notwendig bzw. nicht möglich
BLIND	Kühlen durch Rollo
CWINDOW	Kühlen durch Fenster
BLIWIN	Kühlen durch Rollo und Fenster

Tabelle 21.a: Beschreibung der Modeklasse CHD

Mode	Bedingung
RADWIN	($tmp_{room} < tmp_{out} \leq tmp_{desired}$ OR $tmp_{room} < tmp_{desired} < tmp_{out}$) AND hp
HWINDOW	($tmp_{room} < tmp_{out} \leq tmp_{desired}$ OR $tmp_{room} < tmp_{desired} < tmp_{out}$) AND NOT(hp)
RADIATOR	$tmp_{out} \leq tmp_{room} < tmp_{desired}$
BLIND	$tmp_{desired} \leq tmp_{room} < tmp_{out}$
CWINDOW	($tmp_{out} \leq tmp_{desired} < tmp_{room}$ OR $tmp_{desired} < tmp_{out} < tmp_{room}$) AND $e_{sun} < e_{sun,heat}$
BLIWIN	($tmp_{out} \leq tmp_{desired} < tmp_{room}$ OR $tmp_{desired} < tmp_{out} < tmp_{room}$) AND $e_{sun} >= e_{sun,heat}$
OFF	$tmp_{desired} = tmp_{room}$

Tabelle 21.b: Definition der Modeklasse CHD

3.10 Modeklasse VS (ventilation state)

Die Modeklasse VS dient der Lüftungssteuerung. Mit den Zuständen HUM-VENT und VENT wird ein Lüftungswunsch angezeigt, der erst nach Wegfall des Lüftungsgrundes bzw. nach tatsächlich erfolgter Lüftung zurückgenommen wird (Zustand NO-VENT).

Mode	Bedeutung
NO-VENT	Lüften wird nicht für nötig befunden
HUM-VENT	Lüften aufgrund ungünstiger Luftfeuchtigkeit im Raum
VENT	Lüften aufgrund längeren Personenaufenthalts bzw. gemäß periodischer Vorgaben

Tabelle 22.a: Beschreibung der Modeklasse VS

Verläßt die Luftfeuchtigkeit einen vom Benutzer als akzeptabel angegebenen Bereich [$indh_{min}$, $indh_{max}$], und kann der Luftfeuchtigkeitswert durch Luftaustausch mit der Außenluft verbessert werden, so wird der Modus HUM-VENT eingenommen. Andernfalls kann ein Lüften noch unter zwei weiteren Bedingungen (zusammengefaßt im Modus VENT) erwünscht sein: 1. Der Raum ist für mindestens $t_{vperiod1}$ Zeiteinheiten durchgängig belegt und das Fenster geschlossen oder zumindest nicht seit der gewünschten Lüftungszeit von t_{vent} ununterbrochen geöffnet. 2. Der Raum ist nicht belegt, das letzte Lüften liegt mind. $t_{vperiod2}$ zurück und das Fenster ist geschlossen oder zumindest nicht seit der gewünschten Lüftungszeit von t_{vent} ununterbrochen geöffnet.

Mode	Bedingung
NO-VENT	NOT (VS = HUM-VENT OR VS = VENT)
HUM-VENT	((hum_{room} < hum_{min} AND hum_{out} > hum_{room}) OR (hum_{room} > hum_{max} AND hum_{out} < hum_{room})) AND NOT (VS=VENT)
VENT	[OCC=SIGNIFICANT AND t-last(@T(OCC=SIGNIFICANT)) > $t_{vperiod1}$ AND (usc=TRUE OR (usc=FALSE AND t-last(@F(usc)) < t_{vent})] OR [OCC=NOT-SIGNIFICANT AND t-last(@T(usc)) > $t_{vperiod2}$ AND (usc=TRUE OR (usc=FALSE AND t-last(@F(usc)) < t_{vent})]

Tabelle 22.b: Beschreibung der Modeklasse VS

Initial: VS = NO-VENT

3.11 Modeklasse WC (window control)

Diese Modeklasse beschreibt, durch welchen Systemaspekt (Lüftung, Heizung, Sicherheit, Benutzer) gerade das Fenster gesteuert wird. Zwischen den Aspekten wird eine Priorisierung gemäß Benutzer > Sicherheit > Heizen/Kühlen > Ventilation realisiert.

Mode	Bedeutung
VENTILATION	Der Ventialtionsaspekt steuert das Fenster
HEATING	Die Temperatursteuerung (Heizen/Kühlen) steuert das Fenster
SAFETY-WC	Verschluß des Fensters um Beschädigung der Ausstattung zu vermeiden
PANEL	Fenster steht unter Benutzerkontrolle, der es über das Panel geöffnet bzw. geschlossen hat. (siehe Modeklasse PW)

Tabelle 23.a: Beschreibung der Modeklasse WC

Mode	Bedingung				New mode
	$CHD \neq OFF$	$e_{wind,max}$ < $intensity_{wind}$ OR $e_{rain,max}$ <$intensity_{rain}$	PW = OPEN OR PW = CLOSE	PW = AUTO	
VENTILATION	@T				HEATING
		@T			SAFETY-WC
			@T		PANEL
HEATING	@F				VENTILATION
		@T			SAFETY-WC
			@T		PANEL
SAFETY-WC	false	@F			VENTILATION
	true	@F			HEATING
			@T		PANEL

Tabelle 23.b: Modeübergangstabelle für Modeklasse WC

Mode	Bedingung				New mode
	CHD $\neq$ OFF	$e_{wind,max} < intensity_{wind}$ OR $e_{rain,max} < intensity_{rain}$	PW = OPEN OR PW = CLOSE	PW = AUTO	
PANEL	false	false		@T	VENTILATION
	true	false		@T	HEATING
		true		@T	SAFETY-WC

Tabelle 23.b: Modeübergangstabelle für Modeklasse WC

Initial: WC = VENTILATION

3.12 Modeklasse PW (panel window control)

Die Modeklasse PW beschreibt einen Zustand, welcher durch die Bedienung des Fensters gesteuert wird. Er zeigt an, ob das Fenster manuell (OPEN, CLOSE) geöffnet wurde oder noch durch das Haussteuerungssystem kontrolliert wird (AUTO).

Mode	**Bedeutung**
AUTO	Die Kontrolle des Fensters obliegt dem System.
OPEN	Das Fenster ist manuell über das Panel geöffnet worden.
CLOSE	Das Fenster ist manuell über das Panel geöffnet worden.

Tabelle 24.a: Beschreibung der Modeklasse PW

Mode	**Bedingung**			**New mode**
	OCC $\neq$ SIGNIFICANT OR PC = SASH_AUTO	PC = SASH_OPEN	PC = SASH_CLOSED	
AUTO		@T		OPEN
			@T	CLOSED
OPEN	@T			AUTO
		@T		OPEN
CLOSE	@T			AUTO
			@T	CLOSED

Tabelle 24.b: Modeübergangstabelle für Modeklasse PW

Initial: PW=AUTO

/* PC ist die Modeklasse (s. Anhang: Panel). Mit dieser wird werden Einstellungen für Aktuatoren des Panels (aus Panel-Sicht) beschrieben.*/

3.13 Modeklasse BC (blind control)

Diese Modeklasse beschreibt, durch welchen Systemaspekt (Kühlen, Abblenden, Sicherheit) GERADE das Rollo gesteuert wird. Zwischen den Aspekten wird eine Priorisierung gemäß Sicherheit > Abblenden > Kühlen realisiert.

Mode	Bedeutung
COOLING	das Rollo wird ggf. zum Kühlen benutzt
DIMMING	das Rollo blendet ab (Schutz vor zu hoher Helligkeit)
SAFETY-BC	Sicherheitsfall: Jalousie kann durch zu starken Wind beschädigt werden oder Abdunkelung durch zu starke Sonneneinstrahlung

Tabelle 25.a: Beschreibung der Modeklasse BC

Mode	Bedingung
COOLING	$\neg$ SAFETY-BC AND $e_{sun} <= l_{max}$
DIMMING	$\neg$ SAFETY-BC AND $e_{sun} > l_{max}$
SAFETY-BC	$intensity_{wind} > e_{wind,maxblind}$ OR $intensity_{lightincidence} > e_{sun,max}$

Tabelle 25.b: Definition der Modeklasse BC

4 Ausgabefunktionen

4.1 Kontrollierte Umgebungsvariable upper_sash

WC-Mode	**Bedingung**	
VENTILATION	VS $\neq$ NO-VENT	VS = NO-VENT
HEATING	CHD $\in$ { RADWIN, HWINDOW, CWINDOW, BLIWIN}	CHD $\in$ { RADIATOR, BLIND, OFF}
SAFETY-WC	false	true
PANEL	PW=OPEN	PW=CLOSE
upper_sash =	***open***	***closed***

Tabelle 26: Conditiontabelle für upper_sash

4.2 Kontrollierte Umgebungsvariable radiator

	Bedingung	
	hp = true	hp = false
radiator =	***(on, $tmp_{desired}$)***	***(off, 0)***

Tabelle 27: Conditiontabelle für radiator

4.3 Kontrollierte Umgebungsvariable dimmer

OD-Mode	**Bedingung**	
EMPTY OR NOTPRESENT	true	false
PRESENT OR ENTERED OR OCCUPIED	cls >= l_{min}	cls < l_{min}
dimmer =	***0***	$\boldsymbol{l_{desired}}$

Tabelle 28: Conditiontabelle für dimmer

Bei dieser Realisierung wird angenommen, daß -ähnlich zum Radiator- ein Regler vorhanden ist, der die Raumhelligkeit mit dem Beleuchtungskörper auf dem Wert $\boldsymbol{l_{desired}}$ hält.

Problem dieser Realisierung ist, daß u.U. das Licht ständig ein- und ausgeschaltet wird. Hier wäre ein Zeitverzörgerung angebracht, aber die Problembeschreibung macht hierzu keine Aussagen.

4.4 Kontrollierte Umgebungsvariable $\mathbf{blind_{lifting}}$

BC-Mode	**Bedingung**			
COOLING	CHD ∉ { BLIND, BLI-WIN}	false	CHD ∈ { BLIND, BLI-WIN}	false
DIMMING	false	false	false	true
SAFETY-BC	$intensity_{wind} > e_{wind,maxblind}$	$intensity_{lightincidence} > e_{sun,max}$ AND $intensity_{wind} <= e_{wind,maxblind}$	* (sonst)	false
$\boldsymbol{blind_{lifting}}$ **=**	***up***	***down***	$\boldsymbol{l_{tmp\text{-}const}}$	$\boldsymbol{l_{max}}$

Tabelle 29: Conditiontabelle für $blind_{lifting}$

Bei dieser Realisierung wird angenommen, daß -ähnlich zum Radiator- ein Regler vorhanden ist, der die *Raumhelligkeit* und die *Raumtemperatur* kontrollieren kann:

- l_{max} für konstante Raumhelligkeit von l_{max} LUX
- $l_{tmp\text{-}const}$ für konstante Raumtemperatur (Temperatur halten)

Problem dieser Realisierung ist, daß u.U. das Rollo ständig ein- und ausgefahren wird. Hier wäre ein Zeitverzörgerung angebracht, aber die Problembeschreibung macht hierzu keine Aussagen.

Bei gleichzeitig auftretenden, konträren Sicherheitsfällen $intensity_{wind} > e_{wind,maxblind}$ und $intensity_{lightincidence} > e_{sun,max}$ wird durch eine Prioritätenregelung zugunsten des Schutzes der Jalousie entschieden.

Ob es zu Wechselwirkungen zwischen den Reglern für Dimmer und Rollo kommen kann, wurde nicht überprüft.

4.5 Kontrollierte Umgebungsvariable $blind_{rotation}$

Modeklasse BC	**Bedingung**
COOLING	
DIMMING	
SAFETY-BC	$intensity_{lightincidence} > e_{sun,max}$ AND $intensity_{wind} <= e_{wind,maxblind}$
$blind_{rotation}$ =	***closed***

Tabelle 30: Conditiontabelle für $blind_{rotation}$

4.6 Kontrollierte Umgebungsvariable show_msg

Mode	**Bedingung**
	$e_{wind,max} < intensity_{wind}$ OR $e_{rain,max} < intensity_{rain}$ AND lsc = true
show_msg =	***"please close lower sash"***

Tabelle 31: Conditiontabelle für show_msg

5 Literatur

[1] Heitmeyer, C.; Labaw, B.; Kiskis, D.: *Consistency Checking of SCR-Style Requirements Specifications*, Proceedings of RE'95 Requirements Symposium, März 1995

[2] Heninger, K.L.: *Specifying Software Requirements for Complex Systems: New Techniques and Their Application*, IEEE Trans. on Software Engineering, Vol SE-6 No. 1, Januar 1980

[3] Parnas, D.L.; Madey, J.: *Functional Documentation for Computer Systems Engineering (version 2)*, Technischer Report Nr. 237, Telecommunications Research Institute of Ontario (TRIO), September 1991

[4] van Schouwen, A.J.; Parnas, D.L.; Madey, J.: *Documentation of Requirements for Computer Systems*, Proceedings of RE'93 Requirements Symposium, Januar 1993

[5] Zimmermann, G.; Queins, S.; Dellen, B.; Schütze, M.: *Problemdescription*, internes SFB-Dokument team2-problemdescription, 18.01.1996

[6] Zimmermann, G.: *Reference Model*, internes SFB-Dokument sfb501/teams/d1/models/refmodel, 01.12.1995

6 Anhang: Verfolgbarkeitstabellen

6.1 Verfolgbarkeit zwischen Problembeschreibung und NRL-Spezifikation

NRL-Tabelle / Problem-Statement		2	3	4	5	7	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	27	28	29	30	31
G1	1,2	1,2,3	1	1,2				4,5,6, 13	1,3, 10,14	1	4,5, 6		X		X	X	3	3	X		2		1	2			1	1	
G2								9,10,11												X	1		1	1			1	1	
G3																							2				2	2	
G5									3,12, 13,14,15,16,17												3		3	3			3	3	X
G6					X																								
G7																													
C10	3	3		1					4									1											
O1				1					4,8,9, 18	X	X		X						X		2		1	2			1	2	
O2								14,15	4											X	1		1	1			1	2	
O3									4																				
O5									11,12,15,16,17												3		3	3			3	3	X
O9				1					X	X	X																		
F1	1	1		1				4,5,6	3				X			X	3	3	X				1						
F2	2	2	1	2					5								2	2											
F3		2		1,2				8	6,7,18	2							2		X										
F4		2						1,2,3, 12	2			1,2			X						3			3			3	3	
F5									10			4,5, 6							X				1						
F7																			X		2		1	2			1	1	
F8								9,10,11												X	1		1	1			1	1	
F9																													
F10									13,14														2				2	2	
F11																													
F12																													
F13									17														3				3	3	
F14									11,12,15,16,17												3		3				3	3	X
F15									1			1,2			X														
F21																													
F22																													
F24																													
F26	3	3		1					4																				
Tab 5						X	X																						
Tab 6														X															

Tabelle 32: Beziehung zwischen Problembeschreibung und NRL-Spezifikation mit Angabe der NRL-Tabellenzeile

7 Anhang: Panel (Control Unit)

Das folgende Dokument beschreibt das Panel als ein Subsystem. Beobachtete Variablen aus Sicht des Panels sind Eingaben über Tastatur oder Schalter. Kontrolle kann nur auf das Displays des Panels, auf den Aktuator zur Steuerung des oberen Kippfensters (upper sash), auf das Licht und die Stellung der Fensterblenden ausgeübt werden.

7.1 Information der Problembeschreibung

7.1.1 Komponenten

1. Lichtschalter (light push button) → Wird als Ein-/Ausschalter interpretiert
2. Blendenschalter (blind push button) → Umschalter (hoch/runter) mit Mittelstellung (aus)
3. Einzeiliges Display (control panel one line display)
4. Tastatur (keyboard) → direkt mit der Bedieneinheit verbunden.

7.1.2 Funktionen

1. "adjust the individual comfort values of the actual user" → PB, Absatz 34 (Version 3 (team1))
2. Display: "the five last msgs can be displayed (errors, warnings, …)" → PB 34
3. F22 (check input consistency) ist nicht realisiert.

7.2 Ergänzungen zur PB

1. Bei der Tastatur handelt es sich um eine Standard-Tastatur (101/102 Tasten, amerikanisch)
2. Das Scrollen der Anzeige der letzten fünf Zeilen wird über die Cursor-Tasten der Tastatur geregelt. Bei der Ausgaben einer neuen Zeile wird immer auf die aktuelle (d.h. letzte) Zeile gesprungen.
3. Die Anzeige eines Steuerungswertes bleibt <InputTime> auf dem Display sichtbar wenn sie nicht schon vorher durch ein "return" abgeschlossen wird. Danach werden wieder Status-Meldungen angezeigt.
4. Die Funktionen zur Steuerung des Fensters werden über einen zusätzlichen Umschalter (dreistufig, mitte: aus) gesteuert.
5. Die Abfrage der Öffnung des Fensters geschieht über die Tastatur (s. Tabelle)
6. Die Funktionen der Tastatur sind wie folgt (Die Anzeige oder Änderungseingabe wird mit einem "Return" beendet.):

Auslöser	Variable	View/ Edit	Einheit	Range	Beschreibung
↑	Zeile [5…1]	V	String	Char	Cursor nach oben: scrollt Zeilen nach oben (neueste Zeile = Zeile5)

Tabelle 33: Eingaben für die Tastatur der Kontrollbedieneinheit

Auslöser	Variable	View/ Edit	Einheit	Range	Beschreibung
↓	Zeile [1…5]	V	String	Char	Cursor nach unten: scrollt Zeilen nach unten
tT	tmp_{water}	V	°C	4 … 50	Wassertemperatur des Heizkörpers
fF	usc	VE	%	0 … 100	Öffnung des Lüftungskippfensters (0 = geschlossen)
	lsc	V	%	0 … 100	Öffnung des Fensters (0 = geschlossen)
1	t_1	VE	min	? … ?	Zeit t_1, s. PB Absatz 8, Version 3 (Team-1)
2	t_2	VE	min	? … ?	Zeit t_2, s. PB Absatz 8, Version 3 (Team-1)
3	t_3	VE	min	? … ?	Zeit t_3, s. PB Absatz 8, Version 3 (Team-1)
uU	t_{urh}	V	min	? … ?	Belegungsbedingte Aufheizzeit. t_{urh}
cC	tmp_{cf}	VE	°C	4…21,5	gewünschte Komforttemperatur
sS	tmp_{sb}	V	°C	4…21,5	Standby-Temperatur, berechnet aus der Komforttemp. und der maximal erlaubten Aufheizzeit.
oO	tmp_{of}	V	°C	4…21,5	Minimale Raumtemperatur zu "offtime"-Zeiten
kK	$[t]_{cv}$	VE	t … t	0:00 … 24:00	Komfortvorgabezeiten des Bewohners
wW	$[t]_{wor\text{-}kin\ habits}$	VE	date: t… date: t	0:00 … 24:00	Arbeitszeiten des Bewohners
vV	$[t]_{vacati\text{-}ons}$	VE	day: t … t		Urlaubszeiten des Bewohners
hH	$[t]_{holi\text{-}days}$	VE	day: t … t		Feiertage
	$[t]_{bv}$	V			stand-by Zeiten, zusammengestellt aus Arbeitszeiten, Ferien, Feiertagen etc.
	door	V			Öffnungsgrad der Tür
	hp	V			Heizperiode
	tmp_{room}	V			Raumtemperatur
	tmp_{out}	V			Außentemperaatur
	indh	V			Luftfeuchtigkeit im Raum
	outdh	V			Luftfeuchtigkeit außen

Tabelle 33: Eingaben für die Tastatur der Kontrollbedieneinheit

Auslöser	Variable	View/Edit	Einheit	Range	Beschreibung
	t_{actual}	V			aktuelle Ortszeit
butt	$blind_{lifting}$	E			Stellung der Jalousie. 0%-ganz oben, 100%-ganz heruntergelassen
butt	$blind_{rotation}$	E	[degree]	[0,...,180]	Stellwinkel der Jalousielamellen. Bei 0 und 180 Grad vollständig lichtundurchlässig
	wind-speed	V	ms^{-1}	IR	Windgeschwindigkeit
	$wind_{direction}$	V	degree	[0, 359]	Windrichtung
	waterlevel	V	%	[1, 100]	Wasserpegel
	lightincidence	V		IR	Lichteinfall von außen in den Raum
	t_{vent}	VE			Dauer, für die standardmäßig gelüftet werden soll
	$t_{vperiod1}$	VE			Abstand zwischen Lüftungsvorgängen während einer Raumbelegung
	$t_{vperiod2}$	VE			Abstand zwischen Lüftungsvorgängen außerhalb von Belegungszeiten
	$[t]_{cv}$	VE			Komfortvorgabezeiten des Bewohners
	tmp_{cf}	VE			gewünschte Komforttemperatur
	$indh_{min}$	VE			minimal akzeptable Luftfeuchtigkeit des Bewohners
	$indh_{max}$	VE			maximal akzeptable Luftfeuchtigkeit des Bewohners
	C_safh min				Sicherheitsvorgaben für minimale Luftfeuchtigkeit
	C_safh max				Sicherheitsvorgaben für maximale Luftfeuchtigkeit

Tabelle 33: Eingaben für die Tastatur der Kontrollbedieneinheit

Die Tabelle sollte wie folgt interpreteiert werden (Beispiel für Zeile 1):

Die Funktionen zur Steuerung und Anzeige des Heizungsventile werden über die Tastatur eingegeben: Bei Eingabe eines "t" bzw. "T" wird die aktuelle eingestellte Temperatur angezeigt. Diese kann durch Eingabe eines Wertes überschrieben werden. Die Eingabe/Anzeige wird mit einem "Return" abgeschlossen.

Bei CV und BV (die letzten beiden Zeilen) müssen zwei Eingaben gemacht werden!

Die grau unterlegten Variablen sind bereits in dem Hauptdokument 'sys-spec.NRL' definiert.

7.3 Definitionen

7.3.1 Beobachtete Umgebungsvariablen

Variable	Werte-bereich	Wert	Bedeutung
$butt_{lite}$	{aus, ein}		Lichtschalter (light push button)
$butt_{blind}$	{aus, hoch, runter}		Blendenschalter (blind push button) Stellung der Jalousie. 0%-ganz oben, 100%-ganz heruntergelassen Stellwinkel der Jalousielamellen. Bei 0 und 180 Grad vollständig lichtundurchlässig

Tabelle 34: Eingaben direkt an der Kontrollbedieneinheit

Jeder Variable sind eine oder -im Falle von möglicher Groß-/Kleinschreibung- zwei Tasten der Tastatur zugeordnet. Die Variablen werden wie die entsprechenden (Groß-)Tasten benannt.

Variable	Werte-bereich	Wert	Bedeutung
key_{up}	{aus, ein}		Cursor nach oben: scrollt Zeilen nach oben (neueste Zeile = Zeile5)
		aus	Cursor nach oben nicht gedrückt
		ein	Cursor nach oben gedrückt
key_{down}	{aus, ein}		Cursor nach unten: scrollt Zeilen nach unten
key_{return}	{aus, ein}		"return"-Taste
key_t	{aus, ein}		Taste tT: Temperatur des Heizkörpers
key_f	{aus, ein}		Taste fF: Stellung des Kippfensters
key_{win}	{aus, ein}		Taste ?: Stellung des Fensters
key_1	{aus, ein}		Taste 1: Zeit t_1, s. PB Absatz 8, Version 3 (Team-1)
key_2	{aus, ein}		Taste 2: Zeit t_2, s. PB Absatz 8, Version 3 (Team-1)
key_3	{aus, ein}		Taste 3: Zeit t_3, s. PB Absatz 8, Version 3 (Team-1)
key_u	{aus, ein}		Taste uU: Belegungsbedingte Aufheizzeit. t_{urh}

Tabelle 35: Eingaben an der Tastatur der Kontrollbedieneinheit

Variable	Werte-bereich	Wert	Bedeutung
key_c	{aus, ein}		Taste cC: Komforttemperatur tmp_{cf}
key_s	{aus, ein}		Taste sS: Standby-Temperatur tmp_{sb}
key_o	{aus, ein}		Taste oO: offtime-Temperatur tmp_{off}
key_k	{aus, ein}		Taste kK: Komfortvorgabezeit CV
key_w	{aus, ein}		Taste wW: Abwesenheitszeiten (off-site times) wie Ferien, Feiertage, sonstiges
key_d	{aus, ein}		Taste dD: Tägliche Abwesenheitszeiten (daily off-site times) wie Arbeitsgewohnheiten)
$key[t]_{bv}$	{aus, ein}		Taste ?: stand-by Zeiten, zusammengestellt aus Arbeitszeiten, Ferien, Feiertagen etc.
keydoor	{aus, ein}		Taste ?: Öffnungsgrad der Tür
keyhp	{aus, ein}		Taste ?: Heizperiode
$keytmp_{room}$	{aus, ein}		Taste ?: Raumtemperatur
$keytmp_{out}$	{aus, ein}		Taste ?: Außentemperaatur
keyindh	{aus, ein}		Taste ?: Luftfeuchtigkeit im Raum
keyoutdh	{aus, ein}		Taste ?: Luftfeuchtigkeit außen
$keyt_{actual}$	{aus, ein}		Taste ?: aktuelle Ortszeit
keywind-speed	{aus, ein}		Taste ?: Windgeschwindigkeit
$keywind_{direction}$	{aus, ein}		Taste ?: Windrichtung
keywaterle-vel	{aus, ein}		Taste ?: Wasserpegel
keylightin-cidence	{aus, ein}		Taste ?: Lichteinfall von außen in den Raum
$keyt_{vent}$	{aus, ein}		Taste ?: Dauer, für die standardmäßig gelüftet werden soll
$keyt_{vperiod1}$	{aus, ein}		Taste ?: Abstand zwischen Lüftungsvorgängen während einer Raumbelegung
$keyt_{vperiod2}$	{aus, ein}		Taste ?: Abstand zwischen Lüftungsvorgängen außerhalb von Belegungszeiten
$key[t]_{cv}$	{aus, ein}		Taste ?: Komfortvorgabezeiten des Bewohners
$tkeymp_{cf}$	{aus, ein}		Taste ?: gewünschte Komforttemperatur

Tabelle 35: Eingaben an der Tastatur der Kontrollbedieneinheit

Variable	Werte-bereich	Wert	Bedeutung
$keyindh_{min}$	{aus, ein}		Taste ?: minimal akzeptable Luftfeuchtigkeit des Bewohners
$keyindh_{max}$	{aus, ein}		Taste ?: maximal akzeptable Luftfeuchtigkeit des Bewohners
$keyC\_safh_{min}$	{aus, ein}		Taste ?: Sicherheitsvorgaben für minimale Luft-feuchtigkeit
$keyC\_safh_{max}$	{aus, ein}		Taste ?: Sicherheitsvorgaben für maximale Luft-feuchtigkeit

Tabelle 35: Eingaben an der Tastatur der Kontrollbedieneinheit

7.3.2 Kontrollierte Umgebungsvariablen

Variable	Wertebereich	Wert	Bedeutung
Blendenhöhe	0 … 100		Stand der Fensterblende
		0	Blende oben
		100	Blende unten
Blendenwinkel	0 … 180		Winkel der Fensterblendenlamellen
		x	Winkel x ist gegen 'vertikal' gemessen, d.h. bei 0 und 180 tritt kein Licht durch die Blende.
		100	Blende unten
show_msg	String		Enthält eine Meldung (Fehler, Status, Warning, …), die auf dem Display ausgegeben werden muß
		NIL	Es liegt keine neue Meldung an.
		MSG	Es liegt eine neue Meldung MSG vor.
Licht			Betätigung des Lichtschalters
usc	{true, false}		upper sash closed?
		true	Lüftungskippfenster geschlossen
		false	Lüftungskippfenster offen

Tabelle 36: Die Kontrolle der Kontrollbedieneinheit

7.3.3 Definition von Termen und Konstanten

Bemerkung zu UsrSelect: In diesem Term ist die Abfrage des Fensters nicht enthalten, da die Werte des Fensters (verschlossen, geschlossen, offen) nicht durch textuelle Eingabe änderbar sind.

<table>
<tr><th>Variable</th><th>Werte-bereich</th><th>Wert</th><th>Bedeutung</th></tr>
<tr><td>UsrSelect</td><td colspan="2">{false, true}</td><td>Benutzereingabe zur Abfrage gesetzter Werte</td></tr>
<tr><td rowspan="3">UsrEdit</td><td colspan="2">String</td><td>Ändernde Benutzereingabe</td></tr>
<tr><td></td><td>NIL</td><td>Der Benutzer hat direkt "Return"eingegeben: Keine Änderung..</td></tr>
<tr><td></td><td>MSG</td><td>Der Benutzer ändert einen Wert.</td></tr>
<tr><td>IT</td><td colspan="2">const</td><td>Die Zeit, nach der das Display wieder in den STATUS-Modus zurückfällt. (input time)</td></tr>
</table>

Tabelle 37: Eingeführte lokale Terme

Bedingung	UsrSelect =
@T(T=ein) OR @T(1=ein) OR … OR @T(D=ein)	true
NOT (UsrSelect)	false

Tabelle 38: Bedingungstabelle für UsrSelect

Bedingung	NewMsg =
@T(F=ein) OR … OR UsrSelect OR @T(UsrEdit=MSG) OR @T(receiveMsg=true) OR @T(UsrInput=MSG)	MSG
NOT (NewMsg = MSG)	NIL

Tabelle 39: Bedingungstabelle für NewMsg

7.4 Modes und Transitionen

7.4.1 Modeklasse LM (Line Managing)

Die Modeklasse LM dient der Verwaltung der Zeilen des Displays auf der Kontrollbedieneinheit. Das Display selbst kann 5 Zeilen speichern, jedoch nur eine Zeile zugleich anzeigen. Die Cursortasten ↑ bzw. ↓ und die entsprechenden Eingangsvariablen Key_up und Key_down steuern die Anzeige des Displays.

Mode	Bedeutung
LINE_1	Die älteste Zeile wird angezeigt.
LINE_2…4	Die Zeilen 2…4 werden angezeigt.
LINE_5	Die neueste Meldung ist auf dem Display zu sehen.
NEWLINE	Eine neue Meldung wird auf dem Display angezeigt. Die übrigen vier wandern nach oben ab. Zeile # 5 ist verloren.

Tabelle 40: Beschreibung der Modeklasse DM

Mode	Event				New mode
	Key_up = 1	Key_down = 1	NewMsg = NIL	UIM = STATUS	
LINE_1	@T			t	LINE_1
		@T		t	LINE_2
			@F	t	NEWLINE
LINE_2…4	@T			t	LINE_1…3
		@T		t	LINE_3…5
			@F	t	NEWLINE
LINE_5	@T			t	LINE_4
		@T		t	LINE_5
			@F	t	NEWLINE
NEWLINE				t	LINE_5

Tabelle 41: Modeübergangstabelle für Modeklasse DM

7.4.2 Modeklasse PC (Panel Control)

Die Modeklasse PC ändert jedesmal ihren Modus, wenn eine Eingabe am Panel geschieht

Mode	Bedeutung
SASH_OPEN	Das obere Kippfenster wird über Panel geöffnet
SASH_CLOSED	Das obere Kippfenster wird über Panel geschlossen
SASH_AUTO	Die Stellung des oberen Kippfensters wird der Steuerung übergeben
SASH_VIEW	Die Stellung des oberen Kippfensters wird am Paneldisplay angezeigt
BLIND_UP	Die Blende wird über Panel hochgezogen
BLIND_DOWN	Die Blende wird über Panel herabgelassen
LIGHT_ON	Licht wird über Panel eingeschaltet
LIGHT_OFF	Licht wird über Panel ausgeschaltet
TMP_{water}_VIEW	Die Wassertemperatur wird am Paneldisplay angezeigt
WIN_VIEW	Die Öffnung des Fensters wird am Paneldisplay angezeigt
T1_VIEW	t_1 wird am Paneldisplay angezeigt
T1_MODIFY	t_1 wird am Panel geändert
…	

Tabelle 42: Beschreibung der Modeklasse PC

Diese Modeklasse hat Einfluß auf die entsprechenden Variablen, wenn der Modusname ein MODIFY enthält. Es sind im folgenden nicht alle möglichen Modi angezeigt, da sie aus den voranggangenen Tabellen leicht ergänzt werden können (Fleißarbeit)